



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERMODELAN KEKUATAN BETON
MENGUNAKAN DATA BETON 5 JAM DENGAN
METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE
SYSTEM (ANFIS) MATLAB**

**IRWIN OKTOVIANTINI HADI
NRP 3111 100 097**

**Dosen Pembimbing
Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RC14-1501

CONCRETE STRENGTH MODELLING BY FIVE- HOURS CONCRETE DATA USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) MATLAB

IRWIN OKTOVIANTINI HADI
NRP 3111 100 097

Major Supervisor
Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PERMODELAN KEKUATAN BETON
MENGUNAKAN DATA BETON 5 JAM DENGAN
METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE
SYSTEM (ANFIS) MATLAB**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Oleh:

IRWIN OKTOVIANTINI HADI

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Pembimbing :

Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T.

NIP. 197302081998021001

**SURABAYA
JUNI, 2015**

PERMODELAN KEKUATAN BETON MENGGUNAKAN DATA BETON 5 JAM DENGAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) MATLAB

Nama Mahasiswa : Irwin Oktoviantini Hadi
NRP : 3111 100 097
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.

Abstrak

Nasser dan Beaton (1980) telah melakukan percobaan memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari, menggunakan hasil tes kuat tekan beton 5 jam dengan menggunakan metode persamaan linear. Tetapi mempunyai nilai error rata-rata (MSE) sebesar $\pm 11\%$. Alternatif lain adalah permodelan dengan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Penerapan ANFIS untuk berbagai aspek permodelan telah banyak dilakukan dalam sejumlah kajian pada beberapa tahun terakhir dan ANFIS sangat sesuai untuk permodelan nonlinier. Zhu (2000) telah menunjukan bahwa ANFIS merupakan metode permodelan terbaik untuk menganalisis data numerik, karena dalam proses training didasarkan minimalisasi nilai kesalahan atau root mean square error (RMSE) dari output-nya. Sehingga ANFIS dapat dijadikan alternatif untuk memodelkan prediksi kuat tekan beton. Tugas akhir ini merupakan studi kasus terhadap beberapa data hasil pengujian oleh Nasser dan Beaton (1980). Studi kasus ini mencari hubungan variabel dari data mix design dan hasil tes kekuatan beton 5 jam Nasser dan Beaton (1980) menggunakan ANFIS sehingga didapat prediksi kekuatan beton umur 28 hari. Penelitian ini mendapatkan nilai error rata-rata ANFIS sebesar $\pm 7\%$. Sehingga permodelan menggunakan ANFIS lebih akurat.

Kata kunci : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS); Beton; Prediksi kuat tekan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

CONCRETE STRENGTH MODELLING BY FIVE-HOURS CONCRETE DATA USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) MATLAB

Name : Irwin Oktoviantini Hadi
NRP : 3111 100 097
Department : Civil Engineering FTSP-ITS
Major Supervisor : Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.

Abstract

Nasser dan Beaton (1980) were experimenting on prediction of 28 days-old concrete compressive strength using 5 hours concrete compressive strength using regresion method. The method had $\pm 11\%$ mean square error. Another alternative of prediction is Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS was used for many studies for years and compatible for non-linear modelling. Zhu (2000) showed that ANFIS modelling were the most suitable method for numerical data analysis, because from data training process based on minimize RMSE, so ANFIS is suitable for prediction of concrete compressive strength. This final project was a case study of some experimented data by Nasser dan Beaton (1980). This case study was looking for data mix design and concrete compressive strength 5-hours Nasser dan Beaton (1980) correlation using ANFIS, so generate a 28 days-old concrete compressive strength. This research gets a $\pm 7\%$ mean square error (MSE), which means ANFIS modelling is more accurate than the previous one.

Key words : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS); Concrete; Concrete compressive strength.

“This Page Intentionally Left Blank”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas berkah, karunia, rahmat dan hidayah-Nya Laporan Tugas Akhir ini telah terselesaikan dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis tidak berjalan sendirian. Banyak pihak yang telah membantu proses pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai. Maka dari itu dengan rasa hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, Yang selalu memberikan hidayah-Nya dalam proses pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Papa Mudjiadi dan mama Hartini selaku orang tua saya serta Mbak Vindy, Mas Sigit, Fajar, Aliyah, Om, Tante, dan Tya yang selalu mendoakan saya dan telah memberikan dukungan sepenuh hati dan semangat sampai selesainya Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. techn. Pujo Aji, S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan hingga Tugas Akhir ini selesai.
4. Bapak Budi Rahardjo, S.T., M.T. selaku dosen wali.
5. Teman-teman terbaik saya yaitu Sevy, Tata, Diana, Dita, Widya dan lain-lain yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah berbagi dan bareng-bareng berjuang.
6. Teman-teman Jembatan yaitu Ari, Amron, Ahmet, Giwa, dan Sevy yang telah memberikan semangat, motivasi dan bantuan dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Mbak Nikma, Mas Gilang, dan Mas Zul yang bersedia saya repotkan untuk membantu saya dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman 2011, 2012 dan semua rekan mahasiswa Teknik Sipil ITS lainnya
9. Teman-teman terbaik saya dari SMP yaitu intan, resti, laras, rafel dan dari Anak Aksel yang telah memberi motivasi dan semangat dalam hidup saya.
10. Wahyu Mulya Atmaja yang selalu memberikan semangat, motivasi dan selalu sabar dalam hidup saya.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran dari pembaca demi kebaikan untuk kedepannya. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun bagi para pembaca. Amiin.

Surabaya, Juni 2015
Hormat Saya,

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Umum.....	5
2.2. <i>K-5 Strength Tester</i>	5
2.3. Regresi Linier Sederhana	7
2.4. <i>Software</i> Matlab untuk Regresi Non-Linier	8
2.4.1. <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>	8
2.4.2. <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	10

2.4.3.	<i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS).....	11
2.4.3.1.	Algoritma Belajar Hibrida (<i>Hybrid Learning</i>)	14
2.4.3.2.	Permodelan ANFIS	15
2.5.	Perhitungan Nilai Error.....	16
2.6.	Penggunaan ANFIS dalam Penelitian Sebelumnya.....	18
BAB III	METODOLOGI.....	27
3.1.	Diagram Alir Pengerjaan	21
3.2.	Penjelasan Diagram Alir.....	22
3.2.1.	Studi Literatur	22
3.2.2.	Studi Kasus Data	22
3.2.3.	Perancangan Permodelan ANFIS	22
3.2.4.	Membandingkan Target dan Output ANFIS	24
3.2.5.	Kesimpulan	24
BAB IV	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1.	Umum	25
4.2.	Permodelan ANFIS.....	25
4.3.	Permodelan Regresi Linear Sederhana	33
4.4.	Analisis Perbandingan Permodelan ANFIS dengan Permodelan Regresi Linear.....	42
4.4.1.	Analisis Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari silinder 152 x 305 mm	42
4.4.2.	Analisis Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 7 Hari silinder 152 x 305 mm	46

4.4.3.	Analisis Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari silinder 75 x 215 mm	49
4.4.4.	Analisis Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 3, 7, dan 91 Hari silinder 75 x 215 mm.....	51
4.5.	Analisis Model ANFIS	57
4.5.1.	Analisis Hasil <i>Training</i>	57
4.5.2.	Analisis Hasil <i>Checking</i>	59
BAB V	KESIMPULAN	61
5.1.	Kesimpulan.....	61
5.2.	Saran.....	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hubungan Kekuatan K-5 dengan Kekuatan pada Umur Tertentu	6
Tabel 2.2	Proses Belajar ANFIS	15
Tabel 3.1	Kombinasi Input	23
Tabel 4.1	Nilai RMSE Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS	26
Tabel 4.2	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS	27
Tabel 4.3	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS	31
Tabel 4.4	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm dari ANFIS	31
Tabel 4.5	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm dari ANFIS	32
Tabel 4.6	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm dari ANFIS	32
Tabel 4.7	Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm dari ANFIS	32

Tabel 4.8	Regresi Linear Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	33
Tabel 4.9	Nilai Error Linear Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	40
Tabel 4.10	Hubungan Kekuatan K-5 dengan Kekuatan pada Umur Tertentu dan Nilai MSE untuk jenis <i>Normal Weight Aggregate</i>	42
Tabel 4.11	Perbandingan Nilai MSE Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	43
Tabel 4.12	Hasil Prediksi Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	44
Tabel 4.13	Perbandingan Nilai MSE Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm	47
Tabel 4.14	Perbandingan Nilai MSE Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm	49
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai MSE Data <i>Normal Weight Aggregate</i> Umur 3, 7, dan 91 Hari Silinder 75 x 215 mm	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Dalam FIS	9
Gambar 2.2	Neuron pada Jaringan Syaraf.....	10
Gambar 2.3	Prinsip Dasar ANN.....	11
Gambar 2.4	Arsitektur Jaringan Layer pada ANN.....	11
Gambar 2.5	Arsitektur ANFIS	12
Gambar 2.6	Mekanisme Penalaran untuk Model Sugeno	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan	21
Gambar 4.1	Hasil <i>Testing</i> ANFIS Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	28
Gambar 4.2	Struktur ANFIS Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm.....	29
Gambar 4.3	<i>Rules</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm.....	29
Gambar 4.4	<i>Surface Viewer</i> Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm.....	30
Gambar 4.5	Perbandingan Nilai MSE Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	43
Gambar 4.6	Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm	46
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai MSE Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm	47
Gambar 4.8	Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm	48

Gambar 4.9	Perbandingan Nilai MSE Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	50
Gambar 4.10	Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	51
Gambar 4.11	Perbandingan Nilai MSE Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	53
Gambar 4.12	Perbandingan Nilai MSE Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	54
Gambar 4.13	Perbandingan Nilai MSE Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	55
Gambar 4.14	Perbandingan Kuat Tekan Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	56
Gambar 4.15	Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	56
Gambar 4.16	Perbandingan Kuat Tekan Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm.....	57
Gambar 4.17	Perbandingan Variasi MF <i>Normal Weight</i> <i>Aggregate</i> Silinder 152 x 305 mm.....	58
Gambar 4.18	Perbandingan Variasi MF <i>Normal Weight</i> <i>Aggregate</i> Silinder 75 x 215 mm.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data <i>Normal Weight Aggregate</i> (Data Nasser dan Beaton, 1980)	65
Lampiran 2	Tahapan Pembuatan Permodelan ANFIS	81
Lampiran 3	Nilai RMSE Hasil Permodelan ANFIS Data <i>Normal Weight Aggregate</i>	93
Lampiran 4	Perhitungan Regresi Linear Data <i>Normal Weight Aggregate</i>	99
Lampiran 5	Hasil Perhitungan Nilai MSE Regresi Linear Data <i>Normal Weight Aggregate</i>	131
Lampiran 6	Hasil Prediksi Data <i>Normal Weight Aggregate</i> ..	141
Lampiran 7	Tahapan Mendapatkan Hasil Prediksi ANFIS Menggunakan Format .fis	151

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penentuan potensi kekuatan beton secara umum didasarkan pada kuat tekan benda uji beton umur 28 hari. Benda uji ini memiliki dimensi standar dan telah melalui proses pengecoran, *curing*, dan disimpan dibawah pengawasan laboratorium. Namun seiring dengan laju pertumbuhan yang terus meningkat, maka dewasa ini dibutuhkan metode yang cepat, sederhana, dan tepat dalam memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari. Prediksi yang cepat dan tepat dapat menghasilkan struktur yang aman dan menghemat waktu dan biaya yang biasa digunakan untuk mengontrol kekuatan beton secara periodik.

Nasser dan Beaton (1980) telah melakukan percobaan memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari, menggunakan hasil tes kuat tekan beton 5 jam dengan menggunakan metode persamaan linear. Ketika kuat tekan aktual dibandingkan dengan kuat tekan perhitungan linear, mempunyai nilai error rata-rata sebesar $\pm 11\%$.

Alternatif lain adalah permodelan dengan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Penerapan ANFIS untuk berbagai aspek permodelan telah banyak dilakukan dalam sejumlah kajian pada beberapa tahun terakhir (Franc and Panigrahi, 1997) dan ANFIS sangat sesuai untuk permodelan nonlinier. Zhu (2000) telah menunjukan bahwa ANFIS merupakan metode permodelan terbaik untuk menganalisis data numerik, karena dalam proses training didasarkan minimalisasi nilai kesalahan atau *root mean square error* (RMSE) dari *output*-nya. Sehingga ANFIS dapat dijadikan alternatif untuk memodelkan prediksi kuat tekan beton.

Tugas akhir ini merupakan studi kasus terhadap beberapa data hasil pengujian oleh Nasser dan Beaton (1980). Studi kasus ini mencari hubungan variabel dari data *mix design* dan hasil tes kekuatan beton 5 jam Nasser dan Beaton (1980) menggunakan

ANFIS sehingga didapat prediksi kekuatan beton umur 28 hari. Penelitian ini mendapatkan nilai error rata-rata ANFIS sebesar $\pm 7\%$. Sehingga permodelan menggunakan ANFIS lebih akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah :
Permasalahan utama :

Bagaimana membuat permodelan yang bisa memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari berdasarkan data *mix design* beserta hasil tes kekuatan beton umur 5 jam menggunakan ANFIS?

Detail permasalahan :

1. Bagaimana cara kerja ANFIS?
2. Variabel apa saja yang harus digunakan sebagai *input* dari data *mix design* tersebut?
3. Bagaimana hasil akhir model ANFIS untuk memprediksi kuat beton 3, 7, 28, 91 hari?

1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini adalah :
Tujuan utama :

Dapat membuat permodelan yang bisa memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari berdasarkan data *mix design* beserta hasil tes kuat beton 5 jam menggunakan ANFIS.

Detail tujuan :

- Mengetahui cara kerja ANFIS.
- Mengetahui variabel apa saja yang harus digunakan
- Mengetahui hasil akhir model ANFIS untuk memprediksi kuat beton 3, 7, 28, 91 hari.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Data yang digunakan dalam studi kasus dan permodelan adalah data sekunder dari Nasser dan Beaton (1980).

- Tidak meninjau karakteristik dari data *mix design*.
- Tidak menggunakan data *Light Weight Aggregate*.
- Permodelan ANFIS dibuat dengan menggunakan program Matlab *toolbox* versi R2011a.
- Menggunakan Algoritma *Hybrid Learning*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah memberikan solusi alternatif untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3, 7, 28, 91 hari, sehingga dengan demikian dapat dijadikan referensi bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan tulisan yang berisi teori-teori yang mendasari dan yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Dalam tinjauan pustaka dilakukan peninjauan kembali (*review*) pustaka (laporan penelitian, dan sebagainya) tentang masalah yang berkaitan. Dalam tinjauan pustaka tugas akhir ini akan dijelaskan teori-teori yang berkaitan dengan K-5 *Strength Tester*, Regresi Linear Sederhana, *Fuzzy Inference System* (FIS), *Artificial Neural Network* (ANN), *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), Algoritma *Hybrid Learning*, permodelan dengan ANFIS, penggunaan ANFIS dalam bidang teknik sipil dan lain sebagainya yang berkaitan dengan tugas akhir ini, sehingga dapat menjadi dasar dan memberi kemudahan dalam melakukan bab pembahasan.

2.2 K-5 Strength Tester

K-5 *Strength Tester* merupakan metode yang digunakan memprediksi kekuatan beton 28 hari menggunakan data beton 5 jam dengan metode persamaan linear. Metode ini ditemukan oleh Nasser dan Beaton (1980). Pada metode ini, beton segar ditempatkan pada tiga tabung khusus yang diletakkan secara bertumpuk pada alat K-5 *Strength Tester*. Alat tersebut mempunyai spesifikasi yang bisa memberi tekanan sebesar 1500 ± 25 psi ($10,3 \pm 0,2$ MPa) dan bisa menahan suhu $150 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($300 \pm 5^{\circ}\text{F}$). Proses *curing* beton berdurasi 5 jam \pm 5 menit, dimulai saat alat pemanas dinyalakan. Proses *curing* adalah sebagai berikut, pertama beton dipanaskan selama 3 jam dengan suhu $150 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($300 \pm 5^{\circ}\text{F}$), setelah itu alat pemanas dimatikan dan benda uji diberi tekanan sebesar 1500 ± 25 psi ($10,3 \pm 0,2$ MPa) selama 2 jam (ASTM C684-99). Setelah proses *curing* selesai, beton dikeluarkan dari tabung dan siap untuk diuji. Persamaan linear dari metode ini adalah:

$$y = A + Bx$$

$$200 \text{ psi (1,4 MPa)} < x < 5580 \text{ psi (38,5 MPa)} \quad (2.1)$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 3, 7, 28, atau 91 hari

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Tabel 2.1 Hubungan Kekuatan K-5 dengan
Kekuatan pada Umur Tertentu

Umur hari	A, bersinggung, psi (MPa)	B, slope	Koefisien korelasi	Ukuran tabung, in (mm)
7	920 (6,3)	1,02	0,84	6 x 12 (152 x 305)
28	1780 (12,3)	1,11	0,83	6 x 12 (152 x 305)
3	430 (3,0)	0,86	0,88	3 x 9 (75 x 225)
7	940 (6,5)	0,91	0,84	3 x 9 (75 x 225)
28	1820 (12,6)	0,88	0,81	3 x 9 (75 x 225)
91	2280 (15,7)	1,00	0,81	3 x 9 (75 x 225)

(Sumber: Nasser dan Beaton, 1980)

Seperti yang terlihat dari Tabel 2.1, rata-rata dari koefisien korelasi adalah 0,84 untuk enam hubungan yang dianalisa. *Slope* pada K-5 dengan kekuatan pada umur tertentu untuk benda uji 6 x 12-in (152 x 305-mm) berbeda sebesar 8 persen, sedangkan untuk benda uji 3 x 9-in (75 x 225-mm) berbeda sebesar 3 persen. Ketika perbedaan kekuatan antara aktual dengan kekuatan terhitung telah didapat, perbedaan rata-ratanya adalah sebesar ± 13 persen (Nasser dan Beaton, 1980).

2.3 Regresi Linear Sederhana

Dalam analisis linear sederhana akan ditentukan persamaan yang menghubungkan dua variabel yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan pangkat satu (persamaan linear/ persamaan garis lurus). Persamaan umum garis regresi untuk regresi linear sederhana adalah:

$$\hat{y} = a + bx \quad (2.2)$$

dimana:

\hat{y} = nilai estimasi variabel terikat

a = titik potong garis regresi pada sumbu y atau nilai estimasi \hat{y} bila $x = 0$

b = gradien garis regres (perubahan nilai estimasi \hat{y} per satuan perubahan nilai x)

x = nilai variabel bebas

Terdapat dua sifat yang harus dipenuhi sebuah garis lurus untuk dapat menjadi garis regresi yang cocok dengan titik-titik data pada diagram pencar, yaitu:

1. Jumlah simpangan (deviasi) positif dari titik-titik yang tersebar di atas garis regresi sama dengan (saling menghilangkan) jumlah simpangan negatif dari titik-titik yang tersebar di bawah garis regresi. Dengan kata lain,

$$\sum \Delta y = \sum (y - \hat{y}) = 0 \quad (2.3)$$

2. Kuadrat dari simpangan-simpangan mencapai nilai minimum (*least square value of deviations*). Jadi:

$$\sum (\Delta y)^2 = \sum (y - \hat{y})^2 = \text{minimum} \quad (2.4)$$

Dengan menggunakan kedua sifat diatas dan menggabungkannya dengan prinsip-prinsip kalkulus diferensial untuk menentukan nilai ekstrim sebuah fungsi, maka dapat diturunkan

hubungan-hubungan untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta a dan b pada persamaan garis regresi, yang hasilnya sebagai berikut:

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.5)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.6)$$

dimana:

n = jumlah titik (pasangan pengamatan (x,y))

\bar{x} = mean dari variabel x

\bar{y} = mean dari variabel y

Ukuran yang mengindikasikan derajat variasi sebaran data di sekitar garis regresi dapat menunjukkan seberapa besar derajat keterikatan perkiraan yang diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi tersebut, ukuran ini dinamakan sebagai standard error estimasi. Dalam definisi yang lebih tepat standard error estimasi ($s_{y,x}$) adalah deviasi standard yang memberikan ukuran penyebaran nilai-nilai yang teramati di sekitar garis regresi, dirumuskan sebagai berikut:

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum(y-\hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum(y^2) - a(\sum y) - b(\sum xy)}{n-2}} \quad (2.7)$$

2.4 Software Matlab untuk Regresi Non-Linear

Berikut akan dijelaskan beberapa metode yang dimiliki *software* Matlab untuk permodelan non-linear seperti *Fuzzy Inference System* (FIS), *Artificial Neural Network* (ANN), *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS).

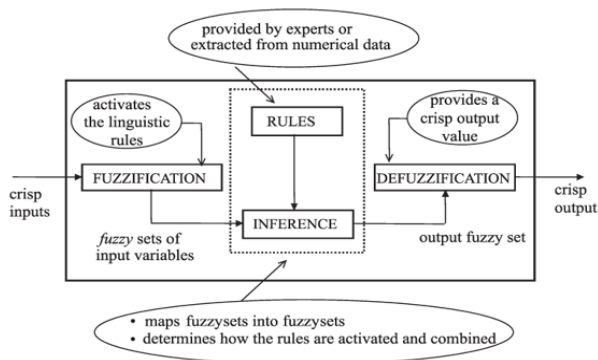
2.4.1 Fuzzy Inference System (FIS)

Fuzzy Inference System (FIS) adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia

melakukan penalaran dengan nalurinya. Konsep FIS sebagai berikut:

- memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat
- penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti sangat fleksibel
- mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks
- dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan
- dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional
- didasarkan pada bahasa alami

Proses dalam FIS ditunjukkan pada Gambar 2.1. Input yang diberikan kepada FIS adalah berupa bilangan tertentu dan output yang dihasilkan juga harus berupa bilangan tertentu. Kaidah-kaidah dalam bahasa linguistik dapat digunakan sebagai input yang bersifat teliti harus dikonversikan terlebih dahulu, lalu melakukan penalaran berdasarkan kaidah-kaidah dan mengonversi hasil penalaran tersebut menjadi output yang bersifat teliti.

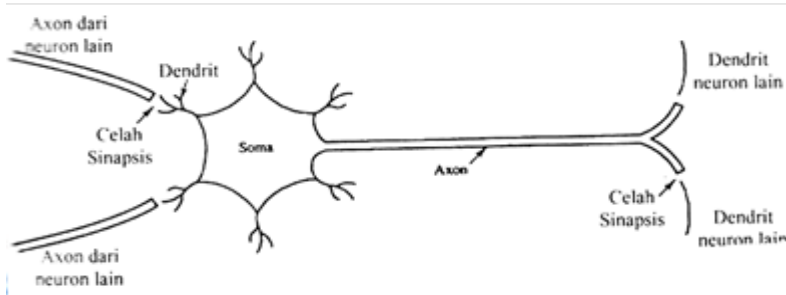


Gambar 2.1 Proses Dalam FIS (Mathworks, 2007)

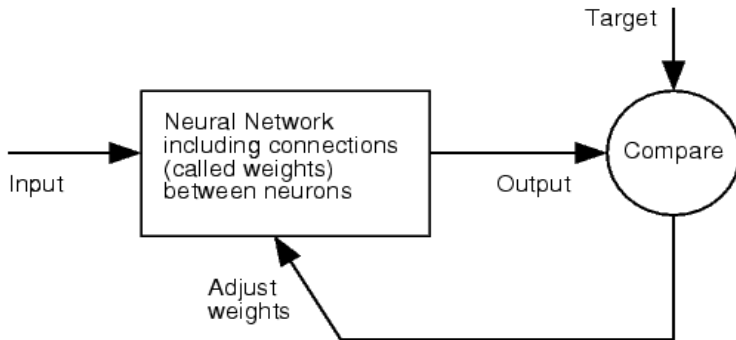
2.4.2 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah sistem pemroses informasi dengan karakteristik dan performa yang mendekati syaraf biologis. ANN menyerupai otak manusia dalam dua hal. Pertama, pengetahuan diperoleh jaringan melalui proses belajar. Kedua, kekuatan hubungan antar sel syaraf (*neuron*) dikenal sebagai bobot-bobot sinaptik digunakan untuk menyimpan pengetahuan.

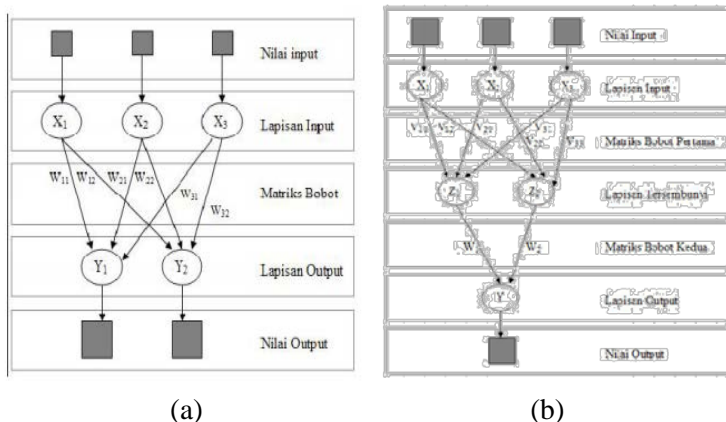
Sebuah jaringan dalam ANN merupakan kombinasi dari beberapa neuron. Jaringan tersebut terdiri dari sebuah lapisan masukan (*input layer*), sebuah lapisan keluaran (*output layer*) dan kemungkinan satu atau lebih lapisan atau sering disebut sebagai lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Setiap *layer* terdiri dari beberapa neuron dan neuron-neuron ini terhubung dengan neuron-neuron lain pada *layer* terdekat. Neuron-neuron tersebut terkumpul dalam lapisan- lapisan yang disebut *neuron layer* (Adhi, 2009).



Gambar 2.2 Neuron pada Jaringan Syaraf (J.J. Siang, 2009)



Gambar 2.3 Prinsip Dasar ANN (Mathworks, 2007)

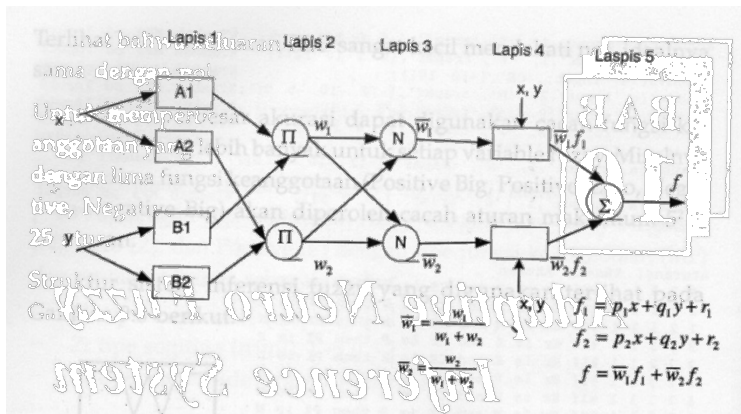


(a) Arsitektur Jaringan Layer Tunggal
 (b) Arsitektur Jaringan Layer Jamak
 (Hermawan, 2006)

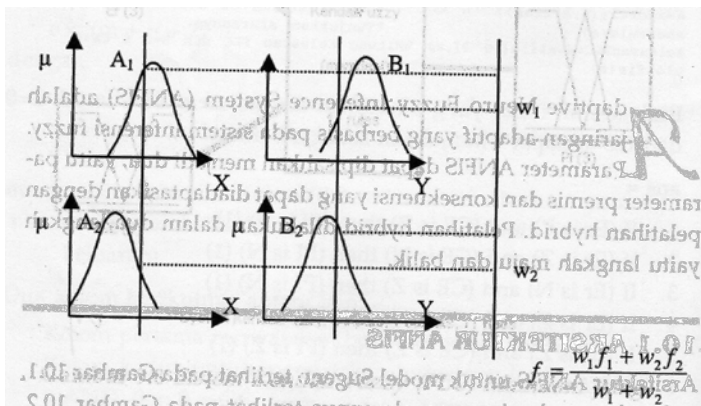
2.4.3 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Neuro-Fuzzy adalah gabungan dari dua saraf sistem yaitu *Fuzzy Inference System* (FIS) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Sistem *neuro-fuzzy* berdasar pada FIS yang dilatih menggunakan algoritma *Hybrid Learning* (algoritma pembelajaran) yang diturunkan dari ANN. Dengan demikian,

sistem *neuro-fuzzy* memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh FIS dan ANN. Dari kemampuannya untuk belajar maka sistem *neuro-fuzzy* sering disebut sebagai *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Salah satu bentuk struktur yang sudah sangat dikenal adalah seperti terlihat pada Gambar 2.1. Dalam struktur ini, sistem inferensi fuzzy yang diterapkan adalah inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (Jang, 1993).



Gambar 2.5 Arsitektur ANFIS (Widodo, 2005)



Gambar 2.6 Mekanisme Penalaran untuk Model Sugeno (Widodo, 2005)

ANFIS terdiri dari lima lapisan jaringan yang menggambarkan jaringan syaraf berlapis-lapis dan memiliki fungsi yang berbeda tiap lapisnya. Tiap lapis terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif artinya nilai parameternya bisa berubah dengan pembelajaran dan lambang lingkaran menyatakan simpul nonadaptif yang nilainya tetap. Fungsi dan persamaan masing-masing lapisannya dijelaskan sebagai berikut:

- **Lapisan 1: Lapisan Fuzzyfikasi**

Berfungsi untuk membangkitkan derajat keanggotaan. Layer ini disebut layer input. Simpul dari layer ini akan terhubung dengan nilai keanggotaan *fuzzy*.

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x), \text{ untuk } i = 1, 2 \text{ dan}$$

$$O_{1,i} = \mu_{Bi}(y), \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (2.8)$$

Dengan x dan y adalah input bagi simpul ke i . Dalam penelitian ini akan menggunakan fungsi keanggotaan *Gaussian*.

- **Lapisan 2: Lapisan Produk**

Tiap output simpul menyatakan derajat pengaktifan (*firing strength*) tiap aturan *fuzzy*. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premise memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y), i = 1, 2 \quad (2.9)$$

- **Lapisan 3: Lapisan Normalisasi**

Menormalkan *firing strength*. Lapisan setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio output simpul ke- i pada lapisan sebelumnya

terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3,1} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (2.10)$$

- **Lapisan 4: Lapisan Defuzzyfikasi**

Menghitung output kaidah berdasarkan parameter *consequent* (p_i , q_i , dan r_i)

$$O_{4,1} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.11)$$

- **Lapisan 5: Lapisan Total Output**

Menghitung sinyal output ANFIS dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk.

$$O_{5,1} = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.12)$$

2.4.3.1 Algoritma Belajar Hibrida (*Hybrid Learning*)

ANFIS dalam kerjanya mempergunakan algoritma belajar hibrida (*Hybrid Learning*), yaitu menggabungkan metode *Least-Squares Estimator* (LSE) dan *Error Backpropagation* (EBP). Dalam struktur ANFIS metode EBP dilakukan di lapisan 1, sedangkan metode LSE dilakukan di lapisan 4.

Pada lapisan 1 parameternya merupakan parameter dan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy sifatnya nonlinier terhadap keluaran sistem. Proses belajar pada parameter ini menggunakan metode EBP untuk memperbaharui nilai parameternya. Sedangkan pada lapisan ke 4, sifatnya merupakan parameter linier terhadap keluaran sistem, yang menyusun basis kaidah fuzzy. Proses belajar pada parameter ini menggunakan metode LSE untuk memperbaharui nilai parameternya. Proses belajar pada ANFIS dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Proses Belajar ANFIS

	Arah Maju	Arah Mundur
Parameter permis	Tetap	EBP
Parameter konsekuensi	LSE	Tetap
Sinyal	Keluaran simpul	Sinyal kesalahan

(Sumber: Fatkhurozi, 2012)

2.4.3.2 Permodelan ANFIS

Secara umum proses permodelan ANFIS terbagi menjadi tiga bagian, yaitu proses *training*, *testing*, *checking*. Prinsip dari proses *training* adalah melakukan pembelajaran terhadap data agar diperoleh hasil sesuai dengan target pada data tersebut. Sedangkan proses *testing* dan *checking* adalah proses pengujian ketelitian dari model yang telah diperoleh dari proses *training*.

Mathwork (2007) menyebutkan, terdapat 6 langkah dasar dalam membentuk permodelan ANFIS selain pengumpulan data, karena pengumpulan data merupakan hal yang harus dilakukan terlebih dahulu dan terjadi diluar permodelan. Enam langkah tersebut antara lain:

0. Pengumpulan data

Pengumpulan data harus sudah dilakukan sebelum membuat permodelan. Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan menjadi data yang akan menjadi *input* dan *output*. Setelah itu, data tersebut dibagi 70% untuk proses *training* dan masing-masing 15% untuk proses *testing* dan *checking*.

1. Load data

Memasukkan data yang akan diproses dan diplot.

2. Membership Function

Setelah data diplot, memasukkan jumlah dan tipe fungsi keanggotaan. Dimana jumlah fungsi keanggotaan adalah angka parameter dengan batasan minimal 2 dan tipe fungsi keanggotaan adalah jenis grafik yang diinginkan.

3. *Error tolerance dan Epochs*

Memasukkan jumlah toleransi error yang dibutuhkan dan jumlah berapa kali iterasi yang diinginkan (nilai *epochs*).

4. *Training*

Setelah semua kolom diisi, diperiksa terlebih dahulu struktur yang telah dibuat oleh ANFIS. Jika sudah sesuai, jaringan siap untuk *training*.

5. *Testing / Checking*

Ketika *training* jaringan sudah komplit, dilakukan *testing* dan *checking* untuk mengecek performa jaringan dan menentukan apakah perlu dilakukan proses *training* lagi.

6. Menggunakan ANFIS

Setelah *testing* dan *checking*, permodelan ANFIS bisa digunakan untuk mencari hasil output dari nilai yang berbeda.

2.5 Perhitungan Nilai Error

Untuk membandingkan hasil *output* ini dengan target *output* untuk setiap *inputan* diperlukan perhitungan nilai *error*. Perhitungan *error* ini selain dapat menentukan bahwa hasil *output* benar atau salah, juga dapat menentukan derajat kebenaran atau kesalahan. Fungsi *error* yang umumnya digunakan adalah MSE (*Mean Square Error*). MSE merupakan rata-rata kuadrat dari selisih antara output jaringan dengan target output. MSE dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MSE = \frac{\sum (X-Y)^2}{n} \quad (2.13)$$

dimana :

X = Nilai pengamatan

Y = Nilai Prediksi

n = jumlah data

Menurut Arun Goel (2011), ada 2 Kriteria tingkat kesalahan, yaitu:

1. *Correlation Coefficient (R)*

Correlation Coefficient (R) merupakan perbandingan antara hasil prediksi dengan nilai sebenarnya. Nilai R dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (2.14)$$

dengan:

$x = X - X'$

$y = Y - Y'$

X = Nilai pengamatan

X' = Rata-rata nilai X

Y = Nilai Prediksi

Y' = Rata-rata nilai Y

Menurut Suwarno (1995), koefisien korelasi adalah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel dibuat kriteria sebagai berikut:

$R = 0$: Tidak ada korelasi antara dua variabel,

$0 < R \leq 0,25$: Korelasi sangat lemah,

$0,25 < R \leq 0,5$: Korelasi cukup,

$0,50 < R \leq 0,75$: Korelasi kuat,

$0,75 < R \leq 0,99$: Korelasi sangat kuat, dan

$R = 100$: Korelasi sempurna.

2. *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x-y)^2}{n}} \quad (2.15)$$

dengan:

n = Jumlah data.

2.6 Penggunaan ANFIS Dalam Penelitian Sebelumnya

ANFIS sudah banyak diaplikasikan dalam berbagai disiplin ilmu, khususnya dalam teknik sipil untuk menyelesaikan masalah yang ada.

Nedushan (2012), menggunakan ANFIS untuk memprediksi modulus elastisitas dari beton kekuatan normal (NSC) dan tinggi (HSC), dan membandingkan dengan peneliti sebelumnya yang menggunakan metode berbeda. Dalam penelitiannya, beliau memprediksi NSC dan HSC menggunakan metode ANFIS. Beliau juga membandingkan dengan metode fuzzy, ANN, Support Vector Machine (SVM) dan Linear Genetic Programming (LGP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ANFIS lebih teliti dibanding dengan metode lainnya dibuktikan dengan nilai RMSE paling kecil.

Febriani (2012), menggunakan ANFIS untuk menyelesaikan permasalahan bidang hidrologi. Dalam penelitiannya, beliau mengidentifikasi produksi energi observasi Waduk Wonorejo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ANFIS memberikan hasil yang cukup baik jika digunakan dalam permodelan.

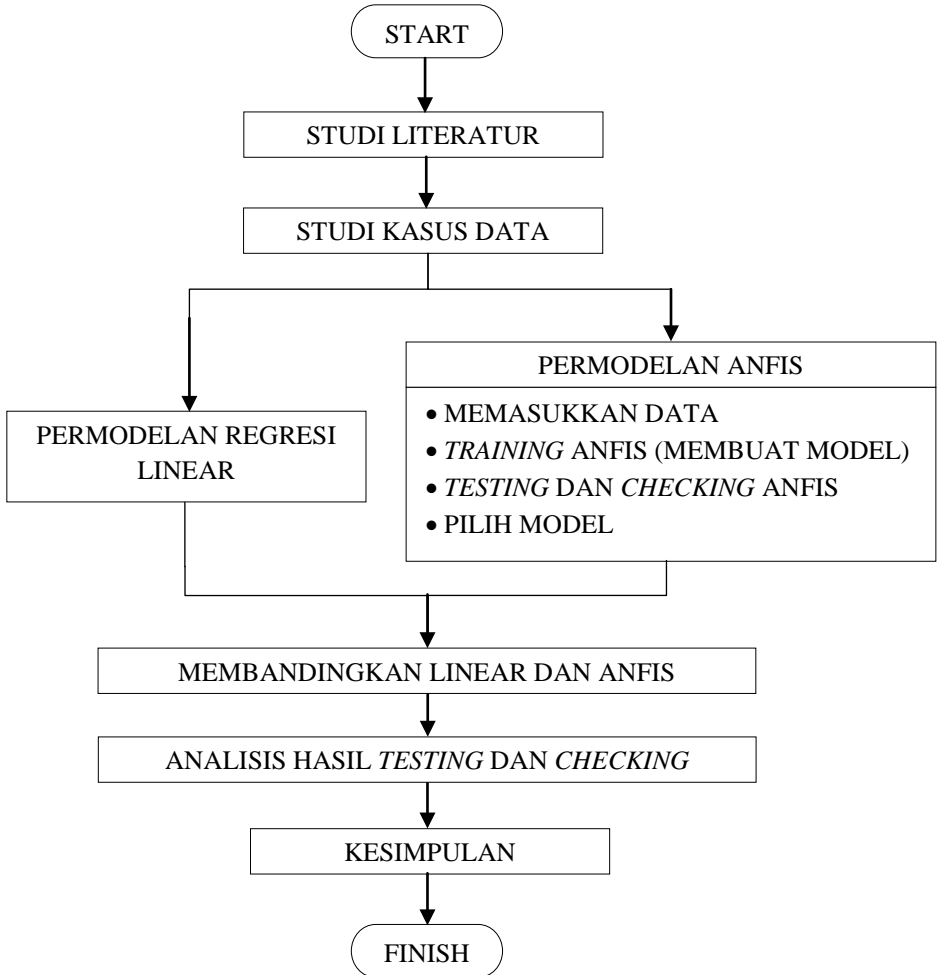
Maulana (2012), menggunakan ANFIS menyelesaikan permasalahan dalam bidang meteorologi. Dalam penelitiannya, beliau memprediksi curah hujan dan debit menggunakan metode ANFIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dinamika temporal hidrometeorologi dapat diidentifikasi secara akurat oleh ANFIS dan model temporal hasil identifikasi ANFIS layak dipergunakan untuk memprediksi curah hujan dan debit sungai.

Widyapратиwi (2012), menggunakan ANFIS untuk peramalan beban listrik jangka pendek di Bali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi peramalan menggunakan metode ANFIS lebih baik dibandingkan dengan metode ANN karena menghasilkan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) lebih kecil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengerjaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan

3.2 Penjelasan Diagram Alir

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur meliputi pemahaman mengenai *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), cara kerja dan pembuatan model ANFIS, sehingga dapat membentuk hubungan yang baik antara kekuatan beton 5 jam dengan kekuatan beton 28 hari. Studi literatur juga meliputi hal-hal yang terkait dengan tugas akhir ini melalui beberapa sumber literatur seperti referensi buku, tugas akhir, jurnal, peraturan, dan lain-lain.

3.2.2 Studi Kasus Data

Studi kasus data berasal dari hasil penelitian Nasser dan Beaton (1980). Dalam penelitiannya, mereka memprediksi kekuatan beton 28 hari menggunakan data beton 5 jam dengan metode persamaan linear. Dengan menggunakan metode ANFIS mendapat nilai *error* lebih kecil $\pm 2\%$ dari nilai *error* perhitungan linear. Dalam permodelan ini digunakan data Nasser dan Beaton (1980) berupa data mix design yang terdiri dari jenis semen, *aggregate cement ratio*, campuran *admixture*, *water cement ratio*, jenis agregat, *slump*, *air content*, serta hasil tes kekuatan beton 5 jam. Jumlah data yang diperoleh sebanyak 337 data. Data dibagi menjadi 2 jenis, yaitu 311 data *Normal Weight Aggregate* dan 26 data *Light Weight Aggregate*. Hanya data *Normal Weight Aggregate* yang digunakan. Data tersebut akan dibedakan menjadi data *input* dan *output*. Data yang digunakan sebagai data *input* (masukan) adalah mix design dan hasil tes kekuatan beton 5 jam, sedangkan data yang digunakan sebagai *output* (keluaran) adalah kuat tekan prediksi beton umur 3, 7, 28, atau 91 hari. Untuk lebih jelasnya, data tersebut akan disajikan dalam lampiran 1.

3.2.3 Perancangan Permodelan ANFIS

Permodelan ANFIS dalam *software* analisa matematika dibuat menggunakan algoritma belajar hibrida, secara umum dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Load data*

Data yang menjadi input adalah data *mix design* dan data kekuatan beton 5 jam, sedangkan yang menjadi output adalah data kekuatan beton 28 hari. Dalam tugas akhir ini membuat beberapa permodelan menggunakan 7 kombinasi input.

Tabel 3.1 Kombinasi Input

No. Input	Keterangan
1	K-5
2	w/c dan K-5
3	Jenis semen, w/c dan K-5
4	Jenis semen, a/c, w/c dan K-5
5	Jenis semen, a/c, admix, w/c dan K-5
6	Jenis semen, a/c, admix, w/c, <i>air content</i> dan K-5
7	Jenis semen, a/c, admix, w/c, <i>slump</i> , <i>air content</i> dan K-5

2. *Membership Function (MF)*

Memasukkan jumlah dan tipe fungsi keanggotaan. Dalam tugas akhir ini menggunakan beberapa variasi MF, yaitu 2, 3, 4, dan 5. Memasukkan tipe fungsi keanggotaan “gaussmf” untuk input dan “constant” untuk output.

3. *Training ANFIS*

Memasukkan jumlah toleransi *error* 0 (nol) dan jumlah iterasi (nilai *epochs*) sebesar 50 (lima puluh). Lalu dimulai proses *training*. Jika nilai *error training* belum *constant*, maka di-*training* lagi hingga nilai *error constant*.

4. *Testing dan Checking*

Load data yang digunakan untuk *testing* dan *checking*. Lalu mendapatkan nilai *error testing* dan *checking*. Permodelan ANFIS telah selesai dan bisa mengecek hasil output akhir (kuat tekan beton 28 hari).

Tahapan pembuatan permodelan lebih detailnya bisa dilihat di lampiran 2.

3.2.4 Membandingkan Target dan Output ANFIS

Setelah semua permodelan dibuat, dipilih model yang optimal. Model yang dipilih, dilihat dari nilai *error testing* yang paling kecil. Lalu hasil output dari model tersebut dibandingkan dengan kuat tekan aktual, didapat nilai *error* permodelan ANFIS.

3.2.5 Kesimpulan

Tahapan terakhir pengerjaan tugas akhir ini adalah mengambil kesimpulan. Kesimpulan yang diambil adalah hasil dari analisa yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, apakah permodelan ANFIS dapat dipakai untuk mencari hubungan antara *mix design* beserta hasil tes kekuatan beton 5 jam dengan kuat tekan beton 28 hari, apakah hasil permodelan dapat dipakai untuk memprediksi kuat tekan beton 28 hari dengan *input* yang berbeda dan berapa besar *error* yang dihasilkan.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari pekerjaan tugas akhir. Hasil tersebut diantaranya studi kasus dan analisis data untuk permodelan, hasil akhir permodelan, dan perhitungan eror dari hasil permodelan. Pada bab ini akan lebih dikhususkan untuk permodelan kuat tekan beton umur 28 hari, selebihnya hanya ditunjukkan perhitungan akhir error dari hasil permodelan.

4.2 Permodelan ANFIS

Permodelan ANFIS dilakukan seperti yang telah dijelaskan pada BAB III. Permodelan dilakukan dengan 70% data untuk *training*, 15% data untuk *testing*, 15% data untuk *checking* dan variasi jumlah *Membership Function* (MF). Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil permodelan dari kombinasi mana yang menghasilkan *Mean Square Error* (MSE) *testing* terkecil dan model mana yang digunakan.

Data yang digunakan dalam permodelan ANFIS ialah data *Normal Weight Aggregate*, dalam tugas akhir ini diperoleh dari penelitian Nasser dan Beaton (1980). Dalam data tersebut terdapat data *mix design* yang terdiri dari jenis semen, *aggregate cement ratio*, campuran *admixture*, *water cement ratio*, *slump*, *air content*, serta hasil tes kekuatan beton 5 jam, hasil kuat tekan silinder beton 152 x 305mm (cetakan besar) umur 7 atau 28 hari, dan hasil kuat tekan silinder beton 75 x 215mm (cetakan kecil) umur 3, 7, 28 atau 91 hari dengan jumlah data sebanyak 311. Untuk lebih jelasnya, data tersebut disajikan dalam lampiran 1.

Dari hasil permodelan data *Normal Weight Aggregate* umur 28 hari silinder 152 x 305 mm dengan 7 kombinasi input dan 4 variasi MF didapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut. Untuk nilai RMSE data *Normal Weight Aggregate* yang lain disajikan dalam Lampiran 3.

Tabel 4.1 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	3,7365	3,5641	3,6580
	3	3,7072	3,5612	3,6331
	4	3,7015	3,5587	3,6090
	5	3,6860	3,5873	3,6000
2	2	3,1746	2,9628	3,2134
	3	2,9322	3,1996	3,7442
	4	2,8776	3,2792	3,3270
	5	2,7429	3,8302	5,8741
3	2	2,7409	2,7717	3,0349
	3	2,3976	2,9640	4,1419
	4	2,1247	10,1740	6,1213
	5	1,9221	15,9228	6,8800
4	2	2,1094	2,5514	3,8375
	3	1,6729	5,1156	9,5954
	4	1,4124	38,1695	38,6073
	5	*	*	*
5	2	1,2350	13,9643	26,2956
	3	0,7974	34,3960	356,7095
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,6480	17,3429	21,5575
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,1879	29,0765	36,5559
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

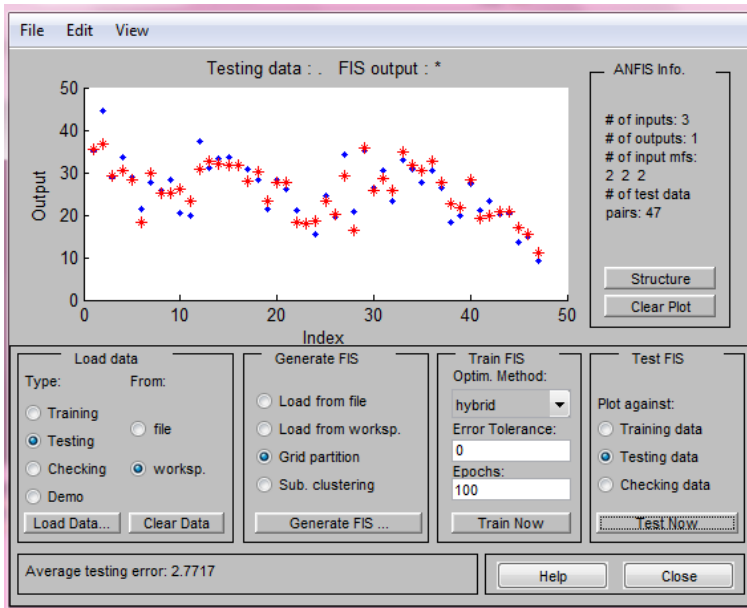
Untuk memilih model yang digunakan, maka dipilih nilai RMSE *Testing* yang terkecil dari tiap kombinasi input. Dari Tabel

4.1 diatas, yang menghasilkan nilai RMSE *Testing* terkecil tiap kombinasi input ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	4	3,7015	3,5587	3,6090
2	2	3,1746	2,9628	3,2134
3	2	2,7409	2,7717	3,0349
4	2	2,1094	2,5514	3,8375
5	2	1,235	13,9643	26,2956
6	2	0,648	17,3429	21,5575
7	2	0,18794	29,0765	36,5559

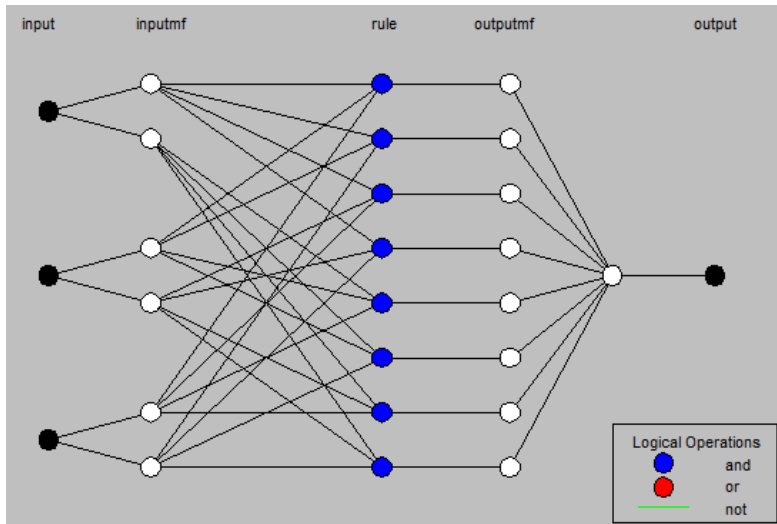
Sebagai contoh hasil *testing*, struktur ANFIS, *rules* yang digunakan, *surface viewer* grafik hubungan antara input dan output digunakan kombinasi input 3 variasi 2 MF dapat dilihat pada gambar berikut.



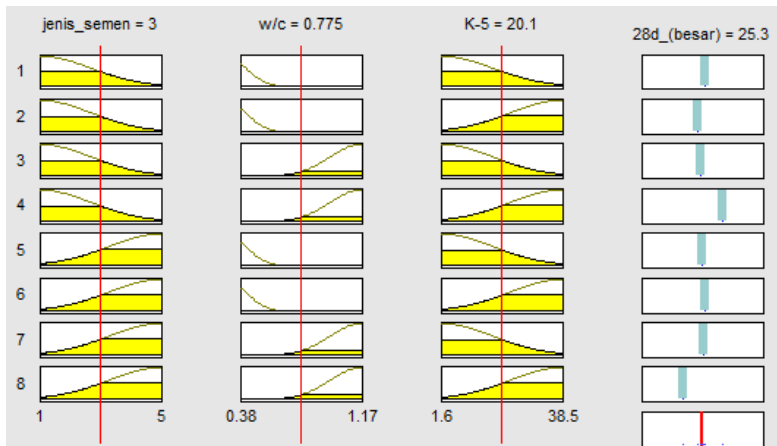
Gambar 4.1 Hasil *Testing* ANFIS Umur 28 Hari
Silinder 152 x 305 mm

Pada Gambar 4.1 diatas, terdapat titik yang berwarna biru menunjukkan input data *testing* dan bintang berwarna merah menunjukkan output data *testing*. Jarak antara titik biru dan bintang merah semakin kecil, semakin kecil pula nilai eror dan semakin baik pula model yang dibuat. Pada kolom ANFIS info, terdapat informasi tentang 3 input data, 1 output data, 47 pasang data *testing*, dan menggunakan MF 2. Pada kolom Train FIS disebutkan error tolerance 0 dan epochs 100. Pada kolom bawah sendiri tertulis nilai *error testing* sebesar 2,7717.

Nilai eror *testing* didapat setelah *training* model. Saat *training* model, ANFIS dengan otomatis membuat struktur kerja dan rules bisa dilihat pada gambar berikut.



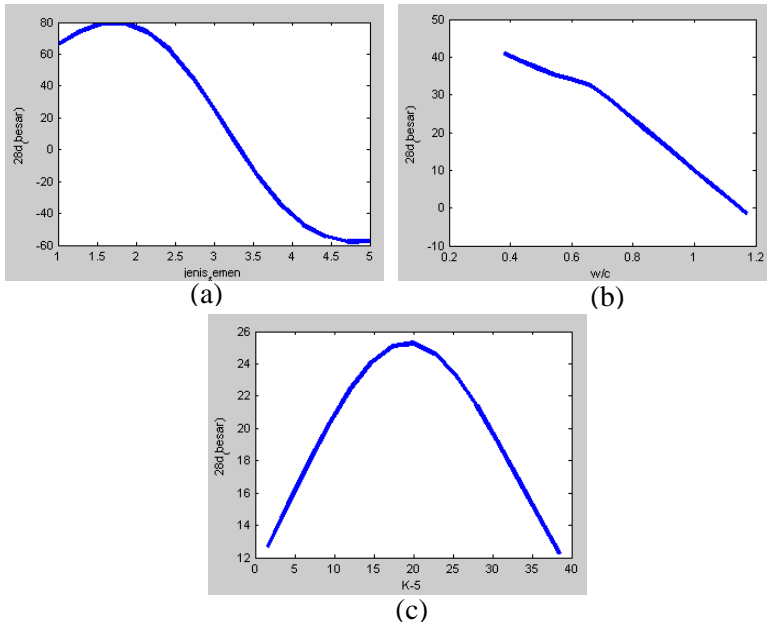
Gambar 4.2 Struktur ANFIS Umur 28 Hari Silinder 152x305 mm



Gambar 4.3 Rules Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

Pada Gambar 4.2 menunjukkan cara kerja ANFIS, Dari 3 input data, tiap data dibagi 2 *range* sesuai dengan MF yang digunakan. Lalu ANFIS dengan otomatis menaplikasikan range

pertama ditambah dengan range data yang lain, hasil itu disebut *Rules*. Gambar 4.3 menunjukkan rules yang telah dibuat otomatis oleh ANFIS.



Gambar 4.4 *Surface Viewer* Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm
 (a) Jenis semen dan Output (b) W/C dan Output
 (c) K-5 dan Output

Gambar 4.4 adalah hasil akhir dari permodelan berupa grafik hubungan antara input dan output. Dari Gambar 4.4a dijelaskan bahwa urutan jenis semen yang menghasilkan kuat tekan beton umur 28 hari paling baik, yaitu jenis semen 1, lalu jenis semen 3, dan terakhir jenis semen 5. Dari Gambar 4.4b dijelaskan bahwa semakin besar water cement ratio semakin kecil pula kuat tekan beton umur 28 hari. Dari Gambar 4.4c dijelaskan bahwa kuat tekan beton 5 jam berbanding lurus dengan kuat tekan

beton umur 28 hari, semakin besar kuat tekan beton 5 jam semakin besar pula kuat tekan beton umur 28 hari.

Untuk umur yang berbeda dan cetakan berbeda, berikut disajikan nilai RMSE *Testing* terkecil tiap kombinasi input pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.3 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	3	3,2756	3,3012	3,2094
2	2	2,9833	2,9593	2,9389
3	2	2,3505	2,5851	2,5282
4	2	1,8906	2,5736	2,8621
5	2	1,1259	13,2654	49,794
6	2	0,50043	16,9731	34,5463
7	2	0,19942	17,4333	39,1467

Tabel 4.4 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 3 Hari Silinder 75 x 215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	4	2,4050	2,4823	2,5365
2	2	2,2429	2,3830	2,4147
3	2	1,94928	2,0959	2,2212
4	2	1,6652	2,1333	2,1168
5	2	1,0184	19,9424	16,0085
6	2	0,52393	10,4693	27,7008
7	2	0,23369	10,8669	16,5818

Tabel 4.5 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 7 Hari Silinder 75x215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	3	2,9709	3,0749	2,5571
2	2	2,6923	3,0163	2,5218
3	2	2,3827	2,8223	2,4016
4	2	1,9055	3,0086	2,9099
5	2	1,12	19,823	5,08685
6	2	0,55077	15,4338	7,9883
7	2	0,28179	34,7639	50,3619

Tabel 4.6 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 28 Hari Silinder 75x215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	5	2,9708	2,8452	2,9986
2	2	2,6450	2,5954	2,5574
3	2	2,4337	2,4076	2,3172
4	2	2,0203	2,9463	3,7585
5	2	1,1191	26,3642	5,867
6	2	0,50305	18,1385	16,9073
7	2	0,1962	15,4616	17,9729

Tabel 4.7 Nilai RMSE Terkecil Tiap Input Data *Normal Weight Aggregate* Umur 91 Hari Silinder 75x215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	3	4,0326	3,5921	4,6720
2	4	3,1746	3,0550	3,3574
3	2	3,2731	2,8816	3,3718
4	2	2,8283	3,3139	4,6650
5	2	1,6863	13,8960	42,4828
6	2	0,8502	23,1181	15,2109
7	2	0,4310	37,7038	105,7117

4.3 Permodelan Regresi Linear Sederhana

Pemodelan regresi linear sederhana ini menggunakan data random yang sama dengan pemodelan ANFIS. Urutan permodelannya juga sama, pertama menggunakan data *training* untuk membuat model atau bisa disebut membuat persamaan linear dengan variabel X sebagai data kuat tekan beton umur 5 jam dan variabel Y sebagai kuat tekan pada umur yang digunakan. Setelah mendapatkan persamaan linear, lalu diaplikasikan menggunakan data *checking* untuk mendapatkan nilai *Mean Square Error* (MSE) permodelan linear. Nilai MSE tersebut dibandingkan dengan nilai MSE *checking* ANFIS.

Akibat data Nasser dan Beaton (1980) dibagi sesuai jenis *aggregate*, maka rumus metode linear yang telah dijelaskan pada BAB II juga berubah. Pada Tabel 4.8 dibawah ini cara menghitung rumus linear tersebut menggunakan data *training* yang telah digunakan ANFIS. Untuk perhitungan regresi linear lainnya, disajikan dalam Lampiran 4.

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
1	31,30	39,62
2	18,60	37,20
3	28,60	43,33
4	23,50	40,52
5	26,50	42,06
6	19,90	44,22
7	16,20	36,82
8	16,10	32,86
9	11,00	30,56
10	8,50	25,76
11	18,60	32,63
12	13,00	30,23
13	11,70	28,54
14	8,90	25,43
15	14,70	33,41

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
16	16,30	29,64
17	12,60	29,30
18	12,20	25,96
19	11,00	25,00
20	18,60	36,47
21	13,60	31,63
22	12,30	29,29
23	10,70	32,42
24	10,10	31,56
25	16,30	33,27
26	10,80	30,00
27	9,00	25,71
28	15,40	36,67
29	25,40	32,15
30	38,50	49,36
31	11,70	27,21
32	15,50	29,81
33	15,60	27,86
34	14,10	25,64
35	12,00	26,09
36	5,50	19,64
37	10,00	23,26
38	13,10	31,19
39	13,60	23,05
40	12,60	23,77
41	6,90	22,26
42	10,00	20,41
43	9,70	20,64
44	5,70	23,75
45	11,30	21,73
46	5,20	21,67
47	7,90	18,81
48	6,80	24,29
49	5,50	25,00

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
50	16,10	30,96
51	9,40	23,50
52	6,60	18,86
53	6,10	19,68
54	5,50	16,18
55	12,20	26,52
56	11,50	26,14
57	16,20	36,00
58	10,10	20,20
59	13,50	30,00
60	11,00	31,43
61	20,20	33,11
62	17,90	31,40
63	15,20	29,23
64	17,80	30,17
65	24,00	34,29
66	18,50	30,83
67	18,20	28,89
68	14,30	33,26
69	15,50	32,29
70	17,00	30,36
71	16,70	31,51
72	14,50	32,95
73	14,60	33,95
74	14,50	32,22
75	14,70	33,41
76	15,50	32,29
77	14,50	32,22
78	14,70	31,96
79	15,70	35,68
80	7,60	24,52
81	9,10	28,44
82	7,50	25,86
83	14,30	37,63

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
84	15,60	35,45
85	8,30	23,06
86	6,70	23,10
87	6,70	23,10
88	7,00	21,88
89	11,00	26,83
90	5,90	19,03
91	3,70	15,42
92	3,60	15,00
93	13,50	24,55
94	8,80	18,72
95	7,60	17,67
96	5,60	15,56
97	9,80	16,90
98	8,40	14,48
99	8,30	16,60
100	6,80	14,78
101	12,00	18,18
102	14,30	26,98
103	11,70	26,00
104	10,60	22,55
105	6,00	19,35
106	5,30	15,59
107	2,10	11,05
108	1,60	8,00
109	33,90	47,75
110	30,70	39,87
111	13,30	34,10
112	17,30	37,61
113	15,10	33,56
114	15,40	27,50
115	12,00	27,27
116	16,70	35,53
117	12,00	31,58

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
118	12,40	23,85
119	7,90	27,24
120	22,00	34,38
121	26,90	37,89
122	23,10	37,87
123	16,60	34,58
124	18,20	31,38
125	25,50	34,46
126	23,20	34,63
127	31,50	35,00
128	13,10	25,19
129	15,20	28,68
130	15,20	28,68
131	11,30	26,90
132	11,00	23,91
133	8,10	22,50
134	9,70	22,56
135	7,70	22,00
136	7,10	21,52
137	9,20	17,04
138	6,70	17,18
139	4,10	17,83
140	4,80	17,78
141	13,60	27,20
142	13,20	25,88
143	8,40	20,49
144	8,80	21,46
145	22,60	37,67
146	20,00	32,26
147	16,00	30,77
148	13,60	28,33
149	15,10	29,04
150	11,00	20,37
151	22,50	39,47

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
152	14,40	29,39
153	11,90	26,44
154	10,50	25,61
155	9,90	21,06
156	9,20	18,78
157	7,20	17,14
158	4,80	13,33
159	15,90	23,38
160	7,10	13,65
161	4,80	13,71
162	9,10	17,84
163	7,80	15,92
164	7,40	16,82
165	4,40	11,58
166	5,00	12,82
167	11,40	20,00
168	10,90	22,24
169	12,30	21,96
170	13,30	27,71
171	6,00	16,67
172	8,60	21,50
173	3,50	15,22
174	17,70	32,18
175	18,70	32,24
176	12,40	26,96
177	21,90	31,74
178	17,70	29,02
179	9,50	22,09
180	20,70	31,85
181	19,60	27,22
182	15,20	26,21
183	12,70	23,96
184	16,70	36,30
185	11,70	36,56

Tabel 4.8 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
186	10,30	41,20
187	19,70	35,82
188	20,00	31,25
189	15,70	29,07
190	12,20	30,50
191	14,60	27,55
192	13,60	25,19
193	14,10	27,65
194	9,70	19,02
195	8,30	20,75
196	7,30	18,25
197	10,50	23,86
198	10,90	22,71
199	7,00	18,92
200	6,60	17,84
201	17,80	35,60
202	7,60	20,54
203	8,30	24,41
204	4,90	19,60
205	11,40	27,14
206	7,00	18,92
207	8,80	22,00
208	6,90	14,68
209	5,40	12,56
210	10,60	15,82
211	6,20	12,92
212	3,80	9,74
213	8,40	17,87
214	6,10	16,05
215	5,50	17,19
216	4,40	11,89
217	6,00	14,63
Intercept (A)		12,72
Slope (B)		1,07

Didapat Intercept (A) = 12,72 dan Slope (B) = 1,07, maka rumus metode linear untuk umur 28 hari silinder 152 x 305 mm menjadi:

$$y = 12,72 + 1,07x \quad (4.1)$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 28 hari silinder 152 x 305 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Setelah didapat persamaan linear, diaplikasikan ke data *checking* untuk mendapatkan nilai error linear. Cara mendapatkan nilai error tersebut disajikan pada Tabel 4.9 sebagai berikut. Untuk perhitungan nilai error rata-rata (MSE) linear lainnya, disajikan dalam Lampiran 5.

Tabel 4.9 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

No	28d Aktual	28d Linear	Error Linear
1	37,01	39,33	5,376
2	43,22	40,08	9,831
3	36,67	28,06	74,010
4	28,92	24,20	22,269
5	24,88	24,20	0,468
6	29,55	26,67	8,277
7	22,97	21,84	1,287
8	22,83	25,70	8,250
9	21,20	24,09	8,367
10	27,93	21,41	42,534
11	24,75	23,34	1,985
12	22,94	21,09	3,437
13	30,17	31,82	2,725
14	33,83	29,78	16,392

Tabel 4.9 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	28d Aktual	28d Linear	Error Linear
15	34,81	32,89	3,691
16	36,60	31,18	29,370
17	34,05	28,06	35,806
18	21,32	21,41	0,009
19	28,72	24,74	15,852
20	23,24	21,95	1,683
21	26,52	19,26	52,694
22	20,43	17,76	7,154
23	21,89	21,41	0,233
24	20,61	23,56	8,665
25	19,38	22,70	11,037
26	21,89	21,41	0,233
27	30,67	27,53	9,857
28	20,65	19,58	1,125
29	28,03	31,07	9,219
30	26,08	26,99	0,832
31	16,25	21,09	23,399
32	17,27	20,87	12,959
33	23,71	21,62	4,370
34	19,26	18,30	0,927
35	22,50	23,34	0,708
36	37,38	29,57	61,067
37	17,35	19,05	2,873
38	24,47	22,70	3,156
39	24,47	22,70	3,156
40	21,79	21,84	0,002
41	19,58	17,76	3,325
42	28,33	20,01	69,212
43	11,58	17,44	34,329
44	20,00	22,38	5,642
45	14,88	19,26	19,225
46	11,76	17,01	27,499
47	11,88	16,79	24,197
MSE Linear			14,653

Dari Tabel 4.9 didapat nilai error rata-rata (MSE) linear sebesar 14,653. Dari Tabel 4.5 telah dijelaskan cara mendapatkan persamaan linear. Adapun rekapitulasi Intercept (A), Slope (B) dan MSE Linear dari masing-masing umur dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hubungan Kekuatan K-5 dengan Kekuatan pada Umur Tertentu dan Nilai MSE untuk Jenis *Normal Weight Aggregate*

Umur hari	A, bersinggung, (MPa)	B, slope	MSE Linear	Ukuran tabung, (mm)
7	6,62	1,00	11,585	152 x 305
28	12,72	1,07	14,653	152 x 305
3	3,85	0,76	6,723	75 x 215
7	6,96	0,88	7,647	75 x 215
28	12,59	0,87	8,535	75 x 215
91	17,15	0,80	24,325	75 x 215

4.4 Analisis Perbandingan Permodelan ANFIS dengan Permodelan Regresi Linear

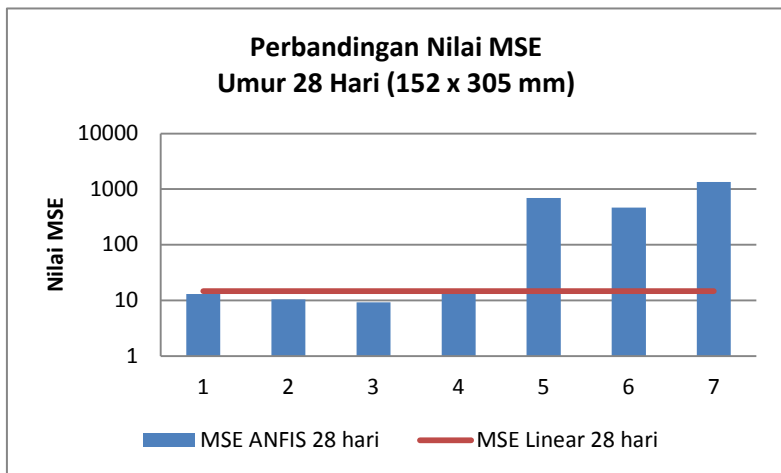
4.4.1 Analisis data *Normal Weight Aggregate* umur 28 hari silinder 152 x 305 mm

Analisis Permodelan ANFIS ini membandingkan nilai MSE Linear pada Tabel 4.10 dengan MSE hasil permodelan ANFIS. Perbandingan antara MSE Linear dengan MSE ANFIS disajikan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai MSE Data *Normal Weight Aggregate* Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

ANFIS			MSE Linear	Selisih MSE Linear & ANFIS
Input	MF	MSE		
1	4	13,025	14,653	1,629
2	2	10,326		4,327
3	2	9,211		5,443
4	2	14,726		-0,073
5	2	691,459		-676,805
6	2	464,726		-450,072
7	2	1336,334		-1321,680

Dari Tabel 4.11 menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi input dari permodelan ANFIS dapat digunakan. Hanya kombinasi 1 input 4 MF, 2 input 2 MF dan 3 input 2 MF yang dapat digunakan untuk umur 28 hari silinder 152 x 305 mm. Untuk lebih jelasnya perbedaan nilai MSE kedua model dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai MSE Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 3 input 2 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 9,211. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 1 input dan paling banyak 3 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 28 hari silinder 152 x 305 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk hasil lebih lengkap dari prediksi ANFIS dapat dilihat pada Tabel 4.12, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 3 input 2 MF.

Tabel 4.12 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm

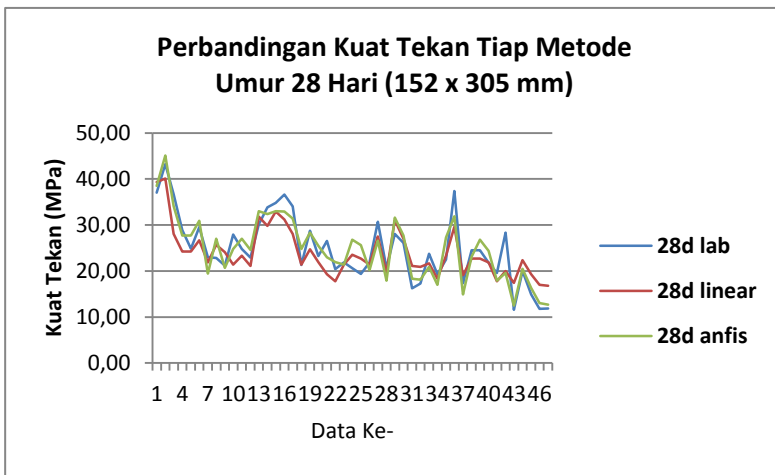
No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	37,01	39,33	6,26%	38,50	4,01%
2	43,22	40,08	7,25%	45,10	4,35%
3	36,67	28,06	23,46%	34,10	7,00%
4	28,92	24,20	16,32%	27,70	4,21%
5	24,88	24,20	2,75%	27,70	11,32%
6	29,55	26,67	9,74%	30,90	4,58%
7	22,97	21,84	4,94%	19,40	15,55%
8	22,83	25,70	12,58%	27,00	18,26%
9	21,20	24,09	13,64%	20,70	2,36%
10	27,93	21,41	23,35%	24,80	11,21%
11	24,75	23,34	5,69%	27,00	9,09%
12	22,94	21,09	8,08%	24,60	7,23%
13	30,17	31,82	5,47%	33,00	9,38%
14	33,83	29,78	11,97%	32,40	4,23%
15	34,81	32,89	5,52%	33,00	5,21%
16	36,60	31,18	14,81%	32,90	10,10%
17	34,05	28,06	17,57%	31,40	7,78%
18	21,32	21,41	0,44%	24,80	16,35%
19	28,72	24,74	13,86%	28,30	1,46%
20	23,24	21,95	5,58%	25,50	9,71%
21	26,52	19,26	27,37%	23,00	13,28%

Tabel 4.12 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
22	20,43	17,76	13,09%	21,90	7,17%
23	21,89	21,41	2,20%	21,40	2,25%
24	20,61	23,56	14,28%	26,80	30,02%
25	19,38	22,70	17,15%	25,60	32,13%
26	21,89	21,41	2,20%	20,20	7,73%
27	30,67	27,53	10,24%	26,60	13,26%
28	20,65	19,58	5,14%	17,90	13,30%
29	28,03	31,07	10,83%	31,60	12,73%
30	26,08	26,99	3,50%	27,70	6,22%
31	16,25	21,09	29,77%	18,30	12,62%
32	17,27	20,87	20,84%	18,10	4,79%
33	23,71	21,62	8,81%	20,90	11,87%
34	19,26	18,30	5,00%	17,00	11,73%
35	22,50	23,34	3,74%	27,30	21,33%
36	37,38	29,57	20,91%	31,90	14,66%
37	17,35	19,05	9,77%	14,90	14,14%
38	24,47	22,70	7,26%	23,10	5,61%
39	24,47	22,70	7,26%	26,80	9,51%
40	21,79	21,84	0,20%	24,40	11,95%
41	19,58	17,76	9,31%	17,90	8,60%
42	28,33	20,01	29,36%	19,60	30,82%
43	11,58	17,44	50,60%	12,50	7,95%
44	20,00	22,38	11,88%	20,50	2,50%
45	14,88	19,26	29,47%	16,30	9,56%
46	11,76	17,01	44,57%	13,00	10,50%
47	11,88	16,79	41,42%	12,70	6,95%
Rata-rata		Linear	13,73%	ANFIS	10,56%

Dari Tabel 4.12 menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 10,56% dan menggunakan persamaan linear 13,73%. Semakin kecil nilai

MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.6 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 3 input variasi 2 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



Gambar 4.6 Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari
Silinder 152 x 305 mm

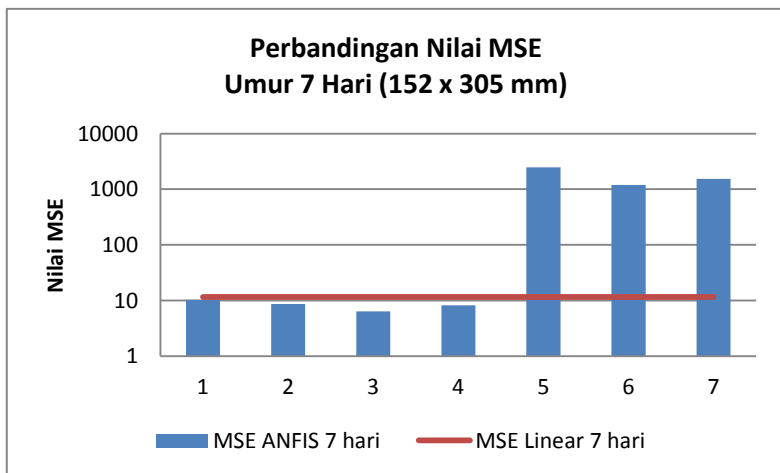
4.4.2 Analisis data *Normal Weight Aggregate* umur 7 hari silinder 152 x 305 mm

Analisis Permodelan ANFIS ini membandingkan nilai MSE Linear pada Tabel 4.10 dengan MSE hasil permodelan ANFIS. Perbandingan antara MSE Linear dengan MSE ANFIS disajikan pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Perbandingan Nilai MSE Data *Normal Weight Aggregate* Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm

ANFIS			MSE Linear	Selisih MSE Linear & ANFIS
Input	MF	MSE		
1	3	10,300	11,585	1,285
2	2	8,637		2,948
3	2	6,392		5,193
4	2	8,192		3,393
5	2	2479,442		-2467,857
6	2	1193,447		-1181,862
7	2	1532,464		-1520,879

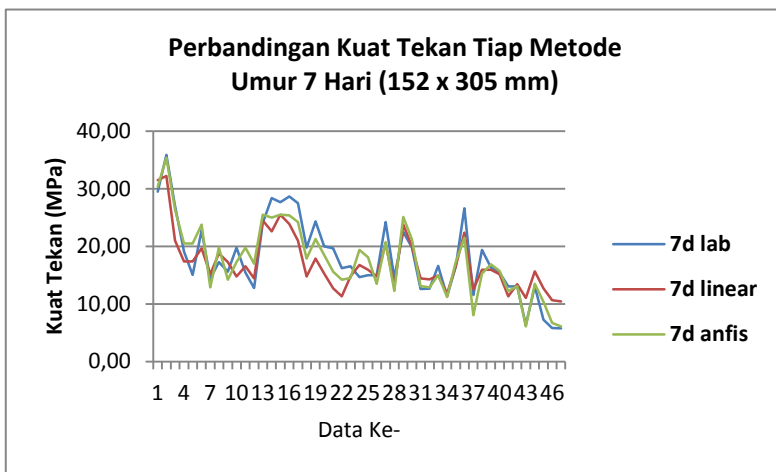
Dari Tabel 4.13 menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi input dari permodelan ANFIS dapat digunakan. Hanya kombinasi 1 input 3 MF, 2 input 2 MF, 3 input 2 MF, dan 4 input 2 MF yang dapat digunakan untuk umur 7 hari silinder 152 x 305 mm. Untuk lebih jelasnya perbedaan nilai MSE kedua model dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai MSE Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 3 input 2 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 6,392. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 1 input dan paling banyak 4 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 7 hari silinder 152 x 305 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk tabel hasil dari prediksi ANFIS disajikan dalam lampiran 6, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 3 input 2 MF.

Hasil prediksi menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 12,22% dan menggunakan persamaan linear 18,33%. Semakin kecil nilai MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.8 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 3 input variasi 2 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



Gambar 4.8 Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 Hari
Silinder 152 x 305 mm

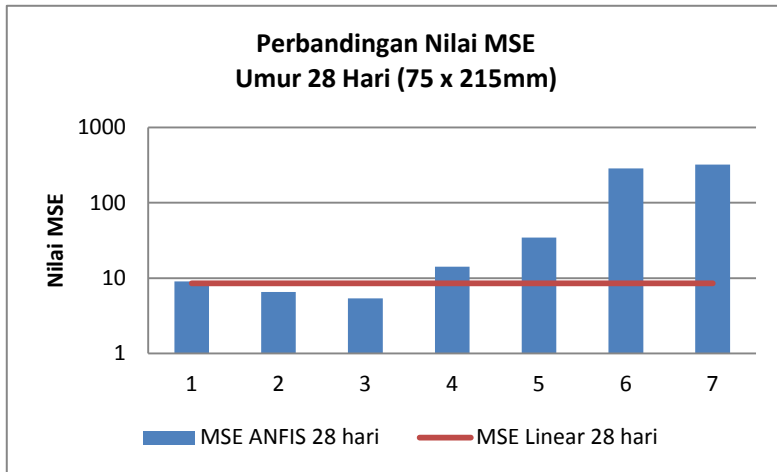
4.4.3 Analisis data *Normal Weight Aggregate* umur 28 hari silinder 75 x 215 mm

Analisis Permodelan ANFIS ini membandingkan nilai MSE Linear pada Tabel 4.10 dengan MSE hasil permodelan ANFIS. Perbandingan antara MSE Linear dengan MSE ANFIS disajikan pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai MSE Data *Normal Weight Aggregate* Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm

ANFIS			MSE Linear	Selisih MSE Linear & ANFIS
Input	MF	MSE		
1	5	8,992	8,535	-0,456
2	2	6,540		1,995
3	2	5,369		3,166
4	2	14,126		-5,591
5	2	34,422		-25,886
6	2	285,857		-277,321
7	2	323,025		-314,490

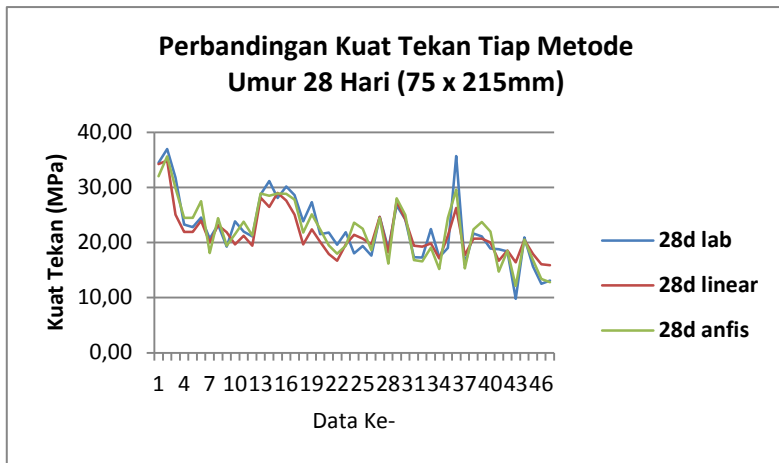
Dari Tabel 4.14 menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi input dari permodelan ANFIS dapat digunakan. Hanya kombinasi 2 input 2 MF, dan 3 input 2 MF yang dapat digunakan untuk umur 28 hari silinder 75 x 215 mm. Untuk lebih jelasnya perbedaan nilai MSE kedua model dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Perbandingan Nilai MSE Umur 28 Hari
Silinder 75 x 215 mm

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 3 input 2 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 5,369. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 2 input dan paling banyak 3 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 28 hari silinder 75 x 215 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk tabel hasil dari prediksi ANFIS disajikan dalam lampiran 6, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 3 input 2 MF.

Hasil prediksi menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 8,64% dan menggunakan persamaan linear 10,63%. Semakin kecil nilai MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.10 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 3 input variasi 2 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



Gambar 4.10 Perbandingan Kuat Tekan Umur 28 Hari
Silinder 75 x 215 mm

4.4.4 Analisis data *Normal Weight Aggregate* umur 3, 7 dan 91 hari silinder 75 x 215 mm

Analisis Permodelan ANFIS ini membandingkan nilai MSE Linear pada Tabel 4.10 dengan MSE hasil permodelan ANFIS. Perbandingan antara MSE Linear dengan MSE ANFIS disajikan pada Tabel 4.15 berikut.

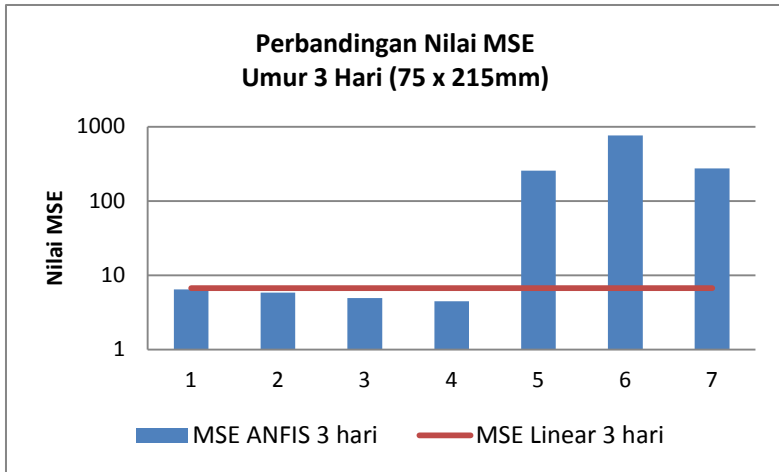
Tabel 4.15 Perbandingan Nilai MSE Data *Normal Weight Aggregate* Umur 3, 7, dan 91 Hari Silinder 75 x 215 mm

Umur (days)	ANFIS			MSE Linear	Selisih MSE Linear & ANFIS
	Input	MF	MSE		
3	1	4	6,434	6,723	0,289
	2	2	5,831		0,892
	3	2	4,934		1,789
	4	2	4,481		2,242
	5	2	256,272		-249,549
	6	2	767,334		-760,611
	7	2	274,956		-268,233

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai MSE Data *Normal Weight Aggregate* Umur 3, 7, dan 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

Umur (days)	ANFIS			MSE Linear	Selisih MSE Linear & ANFIS
	Input	MF	MSE		
7	1	3	6,539	7,647	1,108
	2	2	6,359		1,288
	3	2	5,768		1,879
	4	2	8,468		-0,820
	5	2	25,876		-18,229
	6	2	63,813		-56,166
	7	2	2536,321		-2528,674
91	1	3	21,828	18,281	-3,547
	2	4	11,272		7,009
	3	2	11,369		6,912
	4	2	21,762		-3,482
	5	2	1804,788		-1786,508
	6	2	231,371		-213,091
	7	2	11174,964		-11156,683

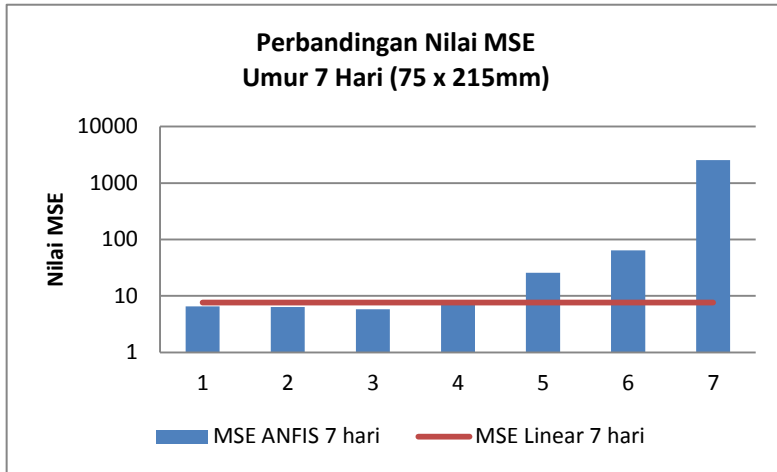
Dari Tabel 4.15 menunjukkan bahwa tidak semua kombinasi input dari permodelan ANFIS dapat digunakan. Hanya kombinasi 1 input 4 MF, 2 input 2 MF, 3 input 2 MF, dan 4 input 2 MF digunakan untuk umur 3 hari silinder 75 x 215 mm. Hanya kombinasi 1 input 3 MF, 2 input 2 MF, dan 3 input 2 MF yang dapat digunakan untuk umur 7 hari silinder 75 x 215 mm. Hanya kombinasi 2 input 4 MF, dan 3 input 2 MF yang dapat digunakan untuk umur 91 hari silinder 75 x 215 mm. Untuk lebih jelasnya perbedaan nilai MSE kedua model dapat dilihat pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.



Gambar 4.11 Perbandingan Nilai MSE Umur 3 Hari
Silinder 75 x 215 mm

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 4 input 2 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 4,481. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 1 input dan paling banyak 4 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 3 hari silinder 75 x 215 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk tabel hasil dari prediksi ANFIS disajikan dalam lampiran 6, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 4 input 2 MF.

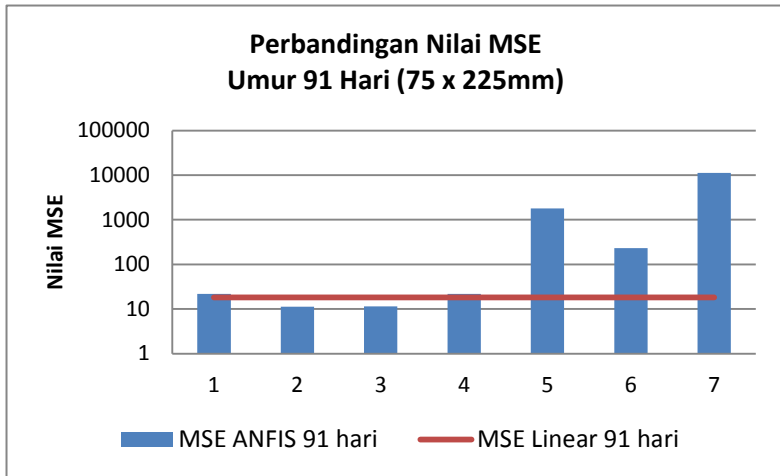
Hasil prediksi menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 14,40% dan menggunakan persamaan linear 18,93%. Semakin kecil nilai MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.14 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 4 input variasi 2 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



Gambar 4.12 Perbandingan Nilai MSE Umur 7 Hari
Silinder 75 x 215 mm

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 3 input 2 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 5,768. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 1 input dan paling banyak 3 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 7 hari silinder 75 x 215 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk tabel hasil dari prediksi ANFIS disajikan dalam lampiran 6, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 3 input 2 MF.

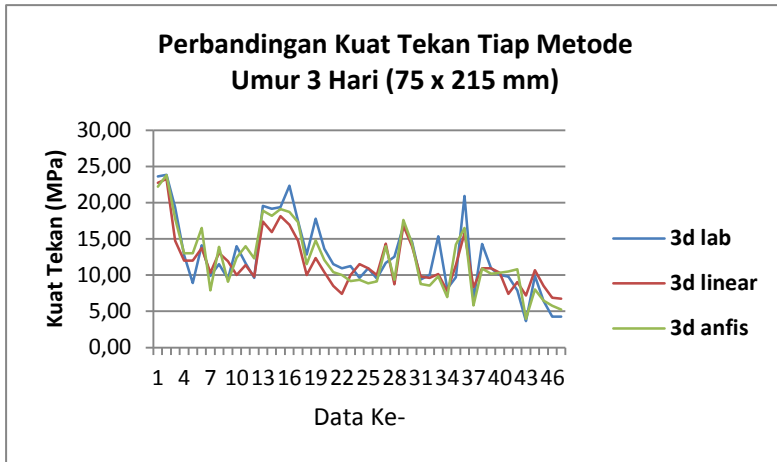
Hasil prediksi menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 12,38% dan menggunakan persamaan linear 16,45%. Semakin kecil nilai MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.15 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 3 input variasi 2 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



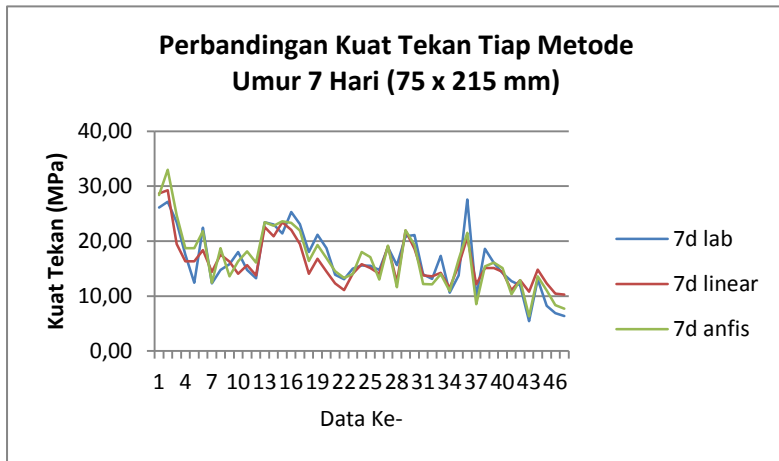
Gambar 4.13 Perbandingan Nilai MSE Umur 91 Hari
Silinder 75 x 215 mm

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa model yang paling optimum yaitu kombinasi 2 input 4 MF dimana mempunyai nilai MSE paling kecil, yaitu 11,272. Dibutuhkan setidaknya paling sedikit 2 input dan paling banyak 2 input untuk mendapatkan hasil permodelan ANFIS umur 91 hari silinder 75 x 215 mm yang lebih baik dari permodelan linear. Untuk tabel hasil dari prediksi ANFIS disajikan dalam lampiran 6, prediksi tersebut didapatkan dari kombinasi 2 input 4 MF.

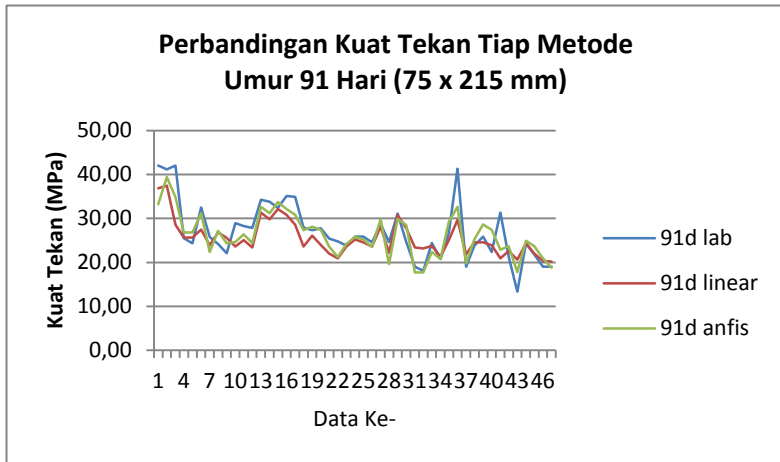
Hasil prediksi menunjukkan bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) menggunakan ANFIS 9,21% dan menggunakan persamaan linear 11,40%. Semakin kecil nilai MAPE semakin akurat pula model yang dibuat, menggunakan ANFIS lebih akurat dibanding menggunakan persamaan linear. Untuk lebih jelasnya, perbandingan kuat tekan antara aktual, metode linear dan metode ANFIS disajikan pada Gambar 4.16 berikut. Metode ANFIS pada grafik tersebut menggunakan model kombinasi 2 input variasi 4 MF, karena model yang paling optimum diantara semua input.



Gambar 4.14 Perbandingan Kuat Tekan Umur 3 Hari
Silinder 75 x 215 mm



Gambar 4.15 Perbandingan Kuat Tekan Umur 7 Hari
Silinder 75 x 215 mm



Gambar 4.16 Perbandingan Kuat Tekan Umur 91 Hari
Silinder 75 x 215 mm

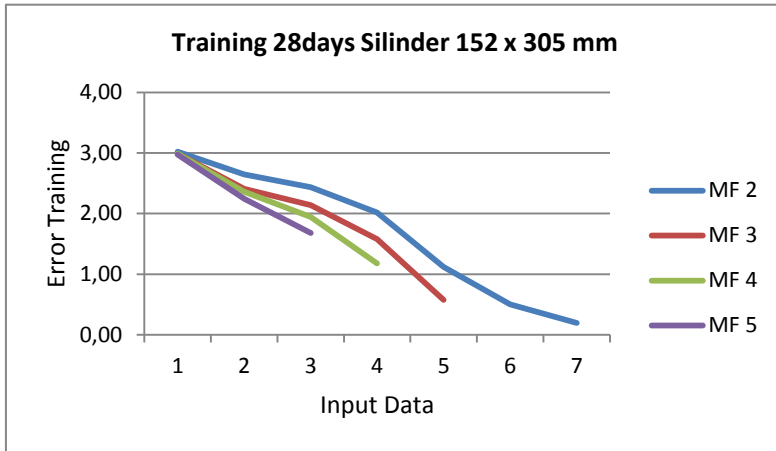
4.5 Analisis Model ANFIS

Dalam ANFIS data untuk *training* memiliki porsi terbesar, dimana data ini digunakan untuk mendefinisikan parameter model (melatih kemampuan model). Data untuk *testing* digunakan dengan tujuan untuk menguji kemampuan model selama proses pembentukannya. Sedangkan data untuk *checking* porsi terkecil atau mempunyai jumlah data yang sama dengan data *testing* yang digunakan untuk memeriksa keakuratan permodelan jika diuji pada data diluar sampel atau data yang dibuat permodelan.

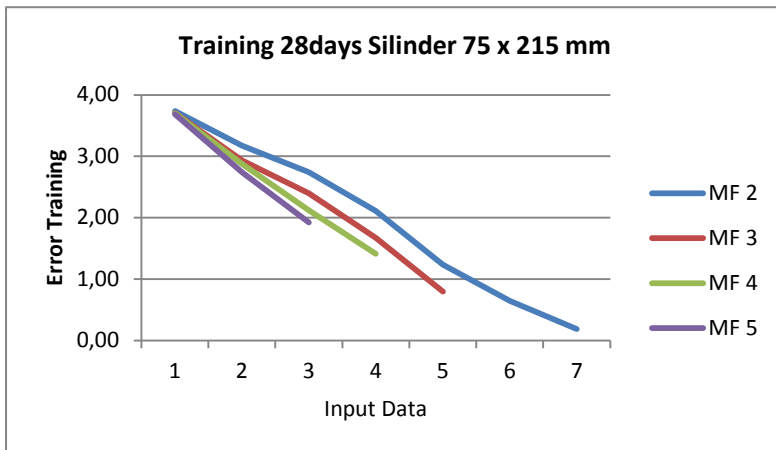
4.5.1 Analisis hasil *training*

Dari permodelan ANFIS yang telah dijelaskan pada subbab 4.2, menunjukan bahwa tiap permodelan data lebih banyak menggunakan variasi MF 2. Padahal untuk variasi MF lebih besar, semakin kecil *error training*, semakin akurat model yang dibuat. Tetapi semakin akurat model yang dibuat, semakin besar pula *error testing* dan *error checking*, dikarenakan data *testing* dan data *checking* berbeda atau diluar data *training*. Untuk lebih

jelasan, perbandingan variasi MF disajikan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.17 Perbandingan Variasi MF *Normal Weight Aggregate* Silinder 152 x 305 mm



Gambar 4.18 Perbandingan Variasi MF *Normal Weight Aggregate* Silinder 75 x 215 mm

4.5.2 Analisis hasil *checking*

Data *checking* berbeda atau diluar data *training*, oleh karena itu biasanya *error checking* tidak sebanding dengan *error training*. Semakin kecil nilai *error training*, semakin besar *error checking*. Untuk lebih jelasnya, perbandingan *error training* dengan *error checking* disajikan pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.16 Perbandingan *Error Training* dengan *Error Checking*
Umur 28 hari Silinder 152 x 305 mm

Input Data	MF	Average Error	
		Training	Checking
1	2	3,7365	3,6580
	3	3,7072	3,6331
	4	3,7015	3,6090
	5	3,6860	3,6000
2	2	3,1746	3,2134
	3	2,9322	3,7442
	4	2,8776	3,3270
	5	2,7429	5,8741
3	2	2,7409	3,0349
	3	2,3976	4,1419
	4	2,1247	6,1213
	5	1,9221	6,8800

Tabel 4.17 Perbandingan *Error Training* dengan *Error Checking*
Umur 28 hari Silinder 75 x 215 mm

Input Data	MF	Average Error	
		Training	Checking
1	2	3,0205	2,9533
	3	2,9913	2,9382
	4	2,9902	2,8131
	5	2,9708	2,9986
2	2	2,6450	2,5574
	3	2,4083	2,8645
	4	2,3609	2,8025
	5	2,2457	3,6627

Tabel 4.17 Perbandingan *Error Training* dengan *Error Checking*
Umur 28 hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

Input Data	MF	Average Error	
		Training	Checking
3	2	2,4337	2,3172
	3	2,1383	2,9800
	4	1,9444	4,0097
	5	1,6817	6,1347

Semua permodelan ini dibuat dan *ditraining* didalam *toolbox* MatAktual dengan menggunakan laptop dengan spesifikasi:

- Acer Aspire 4920
- Windows 7
- Intel Core 2 Duo processor T5550 1.83GHz
- Installed Memory (RAM) 3.00 Gb 32-bit Operating System

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan disampaikan beberapa kesimpulan dan saran beberapa permodelan yang telah dilakukan.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari tugas akhir ini antara lain:

1. ANFIS bisa digunakan untuk permodelan kekuatan beton. Terbukti dengan nilai error rata-rata (MSE) yang lebih kecil dari metode linear dari beberapa permodelan yang dibuat.
2. Permodelan menggunakan pembagian data 70% untuk data *training*, 15% untuk data *testing*, dan 15% untuk data *checking*.
3. Model yang paling optimum untuk setiap umur beton menggunakan kombinasi 3 input (jenis semen, w/c, dan K-5) dengan variasi MF 2.
4. Hasil permodelan menunjukkan bahwa umur 28 hari untuk silinder 152 x 305 mm dan silinder 75 x 215 mm menghasilkan hasil prediksi yang lebih akurat dibandingkan dengan umur lainnya, disajikan pada tabel berikut.

Umur	Linear		ANFIS		Ukuran tabung,
hari	MSE	Keakuratan	MSE	Keakuratan	(mm)
7	11,585	18,33%	6,339	12,22%	152 x 305
28	14,653	13,73%	9,206	10,56%	
3	6,723	18,93%	4,460	14,40%	75 x 225
7	7,647	16,45%	5,763	12,38%	
28	8,535	10,63%	5,359	8,64%	
91	18,281	11,40%	11,255	9,21%	

5.2 Saran

1. Data yang digunakan dalam permodelan harus benar-benar valid, memiliki range yang lebar, dan jumlah data yang banyak.
2. Data baru yang akan diprediksi hasil kuat tekannya harus masuk dalam range data yang dibuat permodelan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai peninjauan ulang karakteristik *mix design* di wilayah tropis, seperti di Indonesia.
4. Perlu juga dilakukan penelitian atau studi lanjut untuk permodelan kekuatan beton menggunakan data *Light Weight* Nasser dan Beaton (1980) dengan jumlah data terbatas.

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980)

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
1	1	3	0	0,39	0	0	31,3	36,82	39,62	27,95	30,39	35,57	35,17
2	1	3	0	0,47	0	0	18,6	26,20	37,20	18,60	20,00	26,96	27,76
3	1	3	0	0,39	0,5	0	28,6	33,26	43,33	26,73	32,13	36,20	45,40
4	1	3,4	0	0,4	0,5	0	23,5	32,19	40,52	24,23	34,06	34,56	36,72
5	1	3,5	0	0,41	2	0	26,5	31,18	42,06	22,65	27,89	27,89	40,77
6	1	3,5	1001	0,38	1,25	5,8	19,9	36,18	44,22	20,95	30,62	35,54	45,23
7	1	4	0	0,43	0,5	0	24,8	29,52	37,01	23,62	26,11	34,44	42,03
8	1	4	1010	0,4	5,25	3,6	15,5	25,00	35,23	14,62	19,38	31,00	40,79
9	1	4	1010	0,38	0,75	4,8	25,5	35,92	43,22	23,83	27,13	36,96	41,13
10	1	4	1011	0,38	3	6	14,3	26,98	36,67	19,32	23,44	31,78	42,06
11	1	5	0	0,45	0	0	23,2	33,14	44,62	23,92	30,93	31,35	36,83
12	1	5	0	0,5	0	0	16,2	26,56	36,82	17,80	27,00	35,22	27,00
13	1	5	0	0,55	0	0	16,1	23,00	32,86	16,10	22,05	29,81	28,25
14	1	5	0	0,6	0	0	11	18,03	30,56	10,19	16,18	25,58	28,95
15	1	5	0	0,65	0	0	8,5	15,74	25,76	9,77	11,97	20,73	19,77
16	1	5	1000	0,48	0,5	3,4	18,6	24,16	32,63	18,60	23,85	32,63	35,77
17	1	5	1000	0,5	4	3,8	13	23,21	30,23	17,81	22,41	27,66	29,55
18	1	5	1000	0,53	4,25	4,2	11,7	20,17	28,54	12,45	20,17	24,89	29,25
19	1	5	1000	0,55	6,25	3	10,7	19,11	28,92	12,74	17,54	23,26	25,48
20	1	5	1000	0,58	6,25	3,8	8,9	17,80	25,43	10,85	16,18	21,19	23,42
21	1	5	1010	0,45	0	3,8	14,7	22,62	33,41	16,52	21,00	28,82	27,22

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
22	1	5	1010	0,48	2	3,8	11,8	18,15	28,78	12,97	19,34	25,65	25,65
23	1	5	1010	0,48	0,75	3,8	16,3	22,96	29,64	13,81	22,64	29,11	27,63
24	1	5	1010	0,5	3	3,4	12,6	21,00	29,30	12,99	18,81	25,71	30,00
25	1	5	1010	0,5	1,5	4	12,2	17,43	25,96	15,25	20,00	24,40	33,89
26	1	5	1010	0,53	5	3,6	11	17,46	25,00	12,36	17,74	24,44	26,19
27	1	5	1010	0,55	5,5	4,8	10,7	15,07	24,88	8,92	12,44	22,77	24,32
28	1	5	1001	0,43	0,75	6	18,6	30,49	36,47	23,54	27,35	30,49	36,47
29	1	5	1001	0,45	2,5	6,4	13,6	25,66	31,63	17,22	23,86	28,94	27,76
30	1	5	1001	0,48	3	7	12,3	24,60	29,29	18,92	20,85	27,33	28,60
31	1	5	1001	0,5	4,5	6	10,7	26,10	32,42	16,21	21,40	27,44	30,57
32	1	5	1001	0,53	6,25	5	10,1	25,90	31,56	15,54	19,80	26,58	29,71
33	1	5	1011	0,43	0,25	5,4	16,3	25,87	33,27	16,14	22,03	28,60	31,35
34	1	5	1011	0,45	1,5	6	13	22,81	29,55	14,13	22,41	24,53	32,50
35	1	5	1011	0,48	3,75	5,8	10,8	22,50	30,00	14,03	18,62	20,38	27,00
36	1	5	1011	0,5	6,75	6,6	9	18,37	25,71	10,59	16,98	20,93	21,43
37	1	6,3	1010	0,47	0,25	4	15,4	27,50	36,67	17,50	22,99	28,00	39,49
38	1	7	0	0,55	0,5	0	17,4	23,51	33,46	18,91	26,36	31,07	33,46
39	1	7	0	0,6	0,75	0	15,4	21,10	29,06	16,92	21,39	24,44	32,77
40	1	7	0	0,6	0,25	0	25,4	23,30	32,15	17,89	22,68	30,24	23,52
41	1	7	0	0,6	0	0	38,5	35,32	49,36	28,95	37,75	45,29	41,40
42	1	7	0	0,65	2,25	0	11,7	17,73	27,21	12,72	15,81	22,08	27,21

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
43	1	7	0	0,65	2,25	0	15,5	21,53	29,81	16,32	20,67	26,72	29,81
44	1	7	0	0,65	2,75	0	15,6	21,37	27,86	13,93	19,26	26,90	23,28
45	1	7	0	0,7	6,25	0	8,5	14,41	22,97	9,88	12,32	20,73	25,76
46	1	7	0	0,7	2,5	0	14,1	19,32	25,64	13,82	19,32	24,31	30,00
47	1	7	0	0,7	3	0	12	18,75	26,09	12,50	17,14	25,53	28,57
48	1	7	0	0,75	9,75	0	5,5	11,96	19,64	5,39	10,38	15,71	15,71
49	1	7	0	0,75	6,5	0	7,9	15,19	21,35	6,58	12,74	18,37	23,24
50	1	7	0	0,75	6,75	0	10	15,38	23,26	6,37	11,36	16,95	20,00
51	1	7	1000	0,55	0	3,8	13,1	23,82	31,19	16,79	22,20	24,72	31,19
52	1	7	1000	0,55	2,5	3,8	13,9	20,14	27,80	15,44	16,95	27,80	27,80
53	1	7	1000	0,55	2	3	13,6	21,25	23,05	13,08	20,00	26,67	27,76
54	1	7	1000	0,6	2,75	4,6	8,8	18,72	25,88	12,57	18,33	23,78	28,39
55	1	7	1000	0,6	1,5	3,4	12,6	17,26	23,77	14,00	16,80	20,32	25,71
56	1	7	1000	0,6	2,75	3,8	12,1	17,29	22,83	11,52	14,76	23,27	24,20
57	1	7	1000	0,65	5,5	5	6,9	15,00	22,26	9,72	13,53	19,71	26,54
58	1	7	1000	0,65	4	3,8	10	16,67	20,41	10,42	16,13	17,24	27,03
59	1	7	1000	0,65	5,25	4	9,7	16,44	20,64	9,70	17,02	22,05	26,94
60	1	7	1000	0,7	6,5	4	5,7	15,83	23,75	9,05	14,62	21,11	25,91
61	1	7	1000	0,7	6,75	3,4	10,6	15,59	21,20	9,46	15,82	19,27	22,08
62	1	7	1000	0,7	0	3,4	11,3	16,14	21,73	9,58	14,68	17,66	21,73
63	1	7	1000	0,75	10	3,4	5,2	14,05	21,67	6,93	10,20	19,26	21,67

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
64	1	7	1000	0,75	9,5	2,8	7,9	14,11	18,81	7,82	9,75	16,81	18,37
65	1	7	1100	0,6	2	4,6	8,1	19,76	27,93	13,97	18,00	23,82	28,93
66	1	7	1100	0,6	2,75	4,8	8,5	21,79	28,33	17,00	21,25	24,29	30,36
67	1	7	1100	0,65	2,5	4,8	6,8	17,89	24,29	13,33	17,00	21,94	29,57
68	1	7	1010	0,65	7,25	4,8	5,5	18,33	25,00	13,75	16,67	22,00	26,19
69	1	7	1010	0,53	0,5	2,8	16,1	22,05	30,96	16,10	21,47	23,33	34,26
70	1	7	1010	0,55	1	3,4	9,9	15,47	24,75	11,65	14,78	22,00	28,29
71	1	7	1010	0,58	0,5	3,8	9,4	15,16	23,50	10,22	16,79	21,86	30,32
72	1	7	1010	0,6	2	3	10,1	12,32	20,61	9,90	17,72	24,05	28,06
73	1	7	1010	0,6	2	3,4	7,8	12,79	22,94	9,63	13,22	21,08	27,86
74	1	7	1010	0,63	3	3,2	7,3	10,58	19,73	7,93	10,00	19,21	25,17
75	1	7	1010	0,65	5	3,6	6,6	11,58	18,86	8,57	12,22	19,41	24,44
76	1	7	1010	0,68	4	3,2	6,1	12,20	19,68	7,09	13,26	17,94	24,40
77	1	7	1010	0,7	7,5	3	5,5	8,59	16,18	5,34	9,17	17,19	22,00
78	1	7	1001	0,45	4,25	6,6	12,2	19,06	26,52	10,25	20,33	24,40	28,37
79	1	7	1001	0,46	5	6,2	11,5	15,75	26,14	13,53	17,16	24,47	28,75
80	1	7	1001	0,46	1	5	16,2	30,00	36,00	21,60	26,56	30,57	33,06
81	1	7	1001	0,48	6	6,6	10,1	16,56	20,20	13,29	18,36	24,05	25,90
82	1	7	1001	0,48	3	7	13,5	24,55	30,00	17,76	22,50	27,55	30,68
83	1	7	1001	0,5	5,5	5,8	11	22,92	31,43	15,49	22,00	25,00	29,73
84	1	7	1001	0,5	0,5	4	13,5	28,72	37,50	20,77	24,55	32,93	32,14

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
85	1	7	1001	0,5	1,5	3,8	20,2	27,30	33,11	21,04	25,90	30,15	38,85
86	1	7	1001	0,5	3	4,4	17,9	24,52	31,40	17,05	22,38	28,87	29,34
87	1	7	1001	0,5	3,5	4,8	15,2	22,69	29,23	16,17	22,03	28,15	28,68
88	1	7	1001	0,5	3,25	4,6	17,8	24,05	30,17	19,56	23,42	28,71	34,23
89	1	7	1001	0,5	4	4,8	15,9	22,39	28,39	22,71	22,39	28,91	32,45
90	1	7	1001	0,5	0	0	24	27,59	34,29	19,83	26,97	31,58	32,88
91	1	7	1001	0,5	2,75	5,4	18,5	22,56	30,83	17,79	23,42	29,37	33,64
92	1	7	1001	0,5	0	5,2	18,2	22,20	28,89	16,55	21,41	25,63	28,44
93	1	7	1001	0,5	2,25	5	15,9	28,39	33,83	19,16	23,04	31,18	33,83
94	1	7	1001	0,5	3,5	4	18,8	27,65	34,81	19,38	21,36	28,06	32,41
95	1	7	1001	0,5	2,25	4	14,3	24,66	33,26	18,82	24,24	29,18	33,26
96	1	7	1001	0,5	2	3,6	15,5	25,41	32,29	18,24	24,60	26,27	33,70
97	1	7	1001	0,5	3	4	17	25,00	30,36	18,48	20,73	25,76	26,98
98	1	7	1001	0,5	2,5	4	16,2	23,82	31,15	15,58	18,41	27,46	27,00
99	1	7	1001	0,5	2	3,8	16,7	24,56	31,51	18,15	23,52	26,51	26,94
100	1	7	1001	0,5	3	4,2	14,5	25,00	32,95	16,11	20,71	26,85	27,36
101	1	7	1001	0,5	3,5	3,8	14,6	25,17	33,95	16,78	19,47	28,08	28,08
102	1	7	1001	0,5	1,5	3,4	17,2	28,67	36,60	22,34	25,29	30,18	35,10
103	1	7	1001	0,5	1,5	3,8	14,5	26,85	32,22	18,35	23,39	29,00	33,72
104	1	7	1001	0,5	3	3,8	14,7	26,25	33,41	19,09	24,50	28,82	34,19
105	1	7	1001	0,5	3	4	15,5	27,19	32,29	19,62	20,95	28,18	29,81

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
106	1	7	1001	0,5	1,75	3,6	15,3	27,32	33,26	18,66	24,29	30,00	31,88
107	1	7	1001	0,5	3	3,8	14,5	25,89	33,72	18,83	21,97	26,36	31,52
108	1	7	1001	0,5	4	4,4	14,6	25,17	31,74	17,38	18,96	27,04	28,63
109	1	7	1001	0,5	2,75	4	14,3	27,50	34,05	17,44	23,06	28,60	34,88
110	1	7	1001	0,5	3	4,2	14,5	26,85	32,22	20,14	22,66	29,59	32,95
111	1	7	1001	0,5	2,75	4,8	14,7	24,92	31,96	17,29	21,62	27,22	30,00
112	1	7	1001	0,5	3,25	3,8	15,7	28,55	35,68	19,38	24,92	28,04	35,68
113	1	7	1001	0,51	2,5	7,2	7,6	20,00	24,52	12,88	17,67	21,11	26,21
114	1	7	1001	0,53	2,25	7	8,1	19,76	21,32	12,86	18,00	23,82	27,93
115	1	7	1001	0,53	8	4,6	11,2	24,35	28,72	17,78	21,13	27,32	27,32
116	1	7	1001	0,53	7	7,4	8,6	20,00	23,24	13,65	18,70	21,50	27,74
117	1	7	1001	0,53	5	5,2	10,8	25,71	30,86	16,62	19,64	26,34	30,86
118	1	7	1001	0,53	7,75	5,8	9,1	22,20	28,44	11,23	18,20	23,95	26,00
119	1	7	1001	0,55	4,5	6,8	7,5	16,67	25,86	14,71	15,96	25,86	28,85
120	1	7	1001	0,56	7,5	6,2	6,1	19,68	26,52	11,51	13,86	21,79	25,42
121	1	7	1001	0,58	6,75	6	4,7	16,21	20,43	10,93	13,06	19,58	24,74
122	1	7	1011	0,45	0,5	4,2	14,3	26,98	37,63	17,44	22,34	33,26	37,63
123	1	7	1011	0,48	0,5	5,2	15,6	26,44	35,45	16,25	22,61	33,91	36,28
124	1	7	1011	0,5	7,5	7,2	8,3	16,94	23,06	9,54	16,60	22,43	28,62
125	1	7	1011	0,5	2	4,6	12,7	19,84	28,22	13,51	16,71	23,09	28,22
126	1	7	1011	0,53	3,5	6,8	6,7	16,75	23,10	8,27	16,34	21,61	30,45

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
127	1	7	1011	0,55	7	5,4	6,6	16,10	21,29	9,71	14,04	21,29	26,40
128	1	7	1011	0,58	6,5	6,2	6,7	15,58	23,10	9,18	13,40	17,18	26,80
129	1	7	1011	0,53	1	5,8	10,5	19,81	28,38	12,65	18,75	26,92	33,87
130	1	8,35	1010	0,59	0,5	5,6	12	17,91	26,09	11,76	15,79	21,43	30,77
131	1	8,35	1010	0,62	3,25	7,2	7	14,58	21,88	9,21	14,29	16,67	25,93
132	1	9	0	0,7	0	0	11	17,74	26,83	12,09	19,30	22,00	28,95
133	1	9	0	0,8	1,5	0	5,9	11,80	19,03	7,97	14,05	19,03	22,69
134	1	9	0	0,85	0,5	0	8,5	13,71	21,25	10,12	12,69	20,24	22,97
135	1	9	0	0,85	3	0	3,7	10,00	15,42	5,78	10,00	13,21	20,56
136	1	9	0	0,9	7	0	3,6	9,47	15,00	5,45	8,00	12,86	20,00
137	1	9	1000	0,65	0,5	4	13,5	16,46	24,55	13,78	19,01	23,68	27,00
138	1	9	1000	0,7	3,25	5	8,8	11,43	18,72	11,89	14,67	20,47	24,44
139	1	9	1000	0,75	4	4,6	6,3	12,86	18,00	8,87	13,40	19,09	22,50
140	1	9	1000	0,79	5,5	4	7,6	12,06	17,67	9,27	10,41	16,17	17,67
141	1	9	1000	0,8	7,25	3	5,6	9,18	15,56	8,00	10,18	13,33	20,00
142	1	9	1010	0,68	2,5	3,2	9,8	10,65	16,90	8,10	10,77	17,50	20,42
143	1	9	1010	0,69	3,25	4	8,4	9,55	14,48	7,78	9,66	16,47	19,09
144	1	9	1010	0,7	3,5	4	8,3	11,53	16,60	7,55	11,22	17,29	22,43
145	1	9	1010	0,73	5,5	3,8	7,4	9,37	15,42	7,79	8,81	13,21	20,56
146	1	9	1010	0,75	7,5	4,6	6,8	8,10	14,78	6,30	8,29	12,14	16,19
147	1	9	1010	0,75	1,5	3	12	11,32	18,18	8,57	11,88	19,35	28,57

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
148	1	9	1001	0,63	2,5	4,4	14,3	21,67	26,98	15,71	20,43	25,54	27,50
149	1	9	1001	0,64	3	4	11,7	19,18	26,00	14,44	20,89	26,00	26,59
150	1	9	1001	0,65	5,5	5	11	19,64	24,44	14,86	20,75	24,44	26,83
151	1	9	1001	0,66	6,75	5,2	8,1	16,53	21,89	11,25	15,00	21,89	23,82
152	1	9	1011	0,58	1	6	10,1	14,64	20,61	9,62	15,54	18,04	25,90
153	1	9	1011	0,6	3,75	5	9,3	15,00	19,38	10,94	15,50	19,38	25,83
154	1	9	1011	0,63	2,25	4,8	10,6	16,56	22,55	10,19	14,13	21,63	26,50
155	1	9	1011	0,68	5,25	5	8,1	15,00	21,89	9,53	14,73	17,61	24,55
156	1	9	1011	0,68	6,5	4	7	14,29	19,44	12,73	12,96	17,95	25,93
157	1	10,1	1010	0,76	4,25	6	6	12,00	19,35	9,38	11,76	18,75	23,08
158	1	10,1	0	0,93	0,25	0	5,3	11,52	15,59	6,79	10,39	14,72	16,56
159	1	11	0	1,02	4,25	0	2,1	7,00	11,05	5,00	7,50	11,67	15,00
160	1	12	0	1,17	7	0	1,6	5,00	8,00	2,25	4,44	6,67	8,89
161	3	5	0	0,45	0,25	0	33,9	43,46	47,75	29,22	38,52	39,88	48,43
162	3	7	0	0,6	0,75	0	30,7	32,32	39,87	18,38	27,66	33,74	40,93
163	3	7	0	0,6	0	0	14	20,00	34,15	17,28	23,73	24,14	30,43
164	3	7	0	0,6	0	0	13,3	20,15	34,10	17,27	23,33	24,18	30,23
165	3	7	0	0,63	0,25	0	17,3	29,83	37,61	18,60	25,07	33,27	37,61
166	3	7	0	0,65	3,75	0	15,1	25,59	33,56	14,52	21,88	27,45	32,83
167	3	7	0	0,65	2,25	0	15,4	22,00	27,50	15,40	19,74	24,44	30,20
168	3	7	0	0,65	2,25	0	12	22,22	27,27	15,38	19,67	24,49	30,00

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
169	3	7	0	0,65	0,25	0	16,7	29,82	35,53	17,40	26,09	32,12	36,30
170	3	7	0	0,68	1,75	0	12	24,00	31,58	16,44	21,43	27,91	34,29
171	3	7	0	0,7	6,25	0	13,8	24,21	30,67	11,69	18,90	24,64	28,75
172	3	7	0	0,7	5	0	12,4	20,33	23,85	14,76	18,51	22,14	29,52
173	3	7	0	0,75	8	0	7,9	19,27	27,24	9,29	14,11	20,79	21,94
174	3	7	0	0,75	5,25	0	6,4	14,55	20,65	12,55	15,61	18,82	24,62
175	3	7	0	0,75	5,25	0	4,8	14,55	20,87	12,63	15,48	19,20	25,26
176	3	7	1000	0,55	0	3,6	22	27,85	34,38	18,97	23,40	30,99	35,48
177	3	7	1000	0,55	0	2,2	26,9	34,49	37,89	19,08	20,53	29,56	28,32
178	3	7	1000	0,55	0	2,2	23,1	34,48	37,87	19,09	20,44	29,62	28,52
179	3	7	1000	0,58	0,75	3,8	16,6	28,14	34,58	19,08	25,15	28,14	33,88
180	3	7	1000	0,6	1,5	3,8	18,2	24,93	31,38	17,67	21,67	27,58	27,58
181	3	7	1000	0,6	0	2,6	25,5	28,65	34,46	20,73	21,25	26,84	24,52
182	3	7	1000	0,6	0	2,6	23,2	28,64	34,63	20,71	21,09	26,67	24,42
183	3	7	1000	0,6	0,25	2,4	31,5	28,64	35,00	23,16	27,88	27,39	26,92
184	3	7	1000	0,6	0,25	2,4	25,3	28,75	35,14	23,21	27,80	27,20	26,91
185	3	7	1000	0,63	5	4,4	17,1	22,50	28,03	16,76	20,85	26,72	31,09
186	3	7	1000	0,65	5,75	5	13,1	19,55	25,19	13,79	17,70	25,69	26,20
187	3	7	1000	0,65	0,25	3,4	15,2	20,27	28,68	16,52	19,00	24,52	24,52
188	3	7	1000	0,65	0,25	3,4	15,2	20,27	28,68	16,52	19,00	24,52	24,52
189	3	7	1000	0,65	0,25	2,8	11,6	20,00	26,36	14,68	21,09	24,17	24,68

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
190	3	7	1000	0,65	0,25	2,8	13,3	19,85	26,08	14,62	21,11	24,18	24,63
191	3	7	1000	0,68	4,25	4,8	11,3	20,55	26,90	11,41	19,15	24,04	27,56
192	3	7	1000	0,7	6,75	5	11	17,46	23,91	9,91	15,07	21,57	25,00
193	3	7	1000	0,7	5,75	3,6	8,1	16,88	22,50	11,10	13,73	19,76	23,14
194	3	7	1000	0,7	5,75	3,6	9,7	17,02	22,56	11,02	13,66	19,40	23,10
195	3	7	1000	0,7	5,75	3,6	7,7	17,11	22,00	12,22	16,04	18,33	24,06
196	3	7	1000	0,7	5,75	3,6	7,1	16,90	21,52	12,24	15,78	18,68	23,67
197	3	7	1000	0,75	7,75	2,6	9,2	12,60	17,04	8,07	12,27	13,14	16,43
198	3	7	1000	0,75	7,75	2,6	6,7	12,64	17,18	8,17	12,41	13,14	16,34
199	3	7	1000	0,75	6,75	2,4	4,1	12,81	17,83	10,00	12,81	14,64	19,52
200	3	7	1000	0,75	6,75	2,4	4,8	12,63	17,78	10,00	12,97	14,55	20,00
201	3	7	1010	0,58	1	4	13,1	22,20	30,47	14,72	20,15	29,77	33,59
202	3	7	1010	0,6	2,25	3,8	13,6	19,15	27,20	11,43	17,89	24,73	29,57
203	3	7	1010	0,6	7	4,2	11	16,67	23,40	11,46	15,94	23,91	27,50
204	3	7	1010	0,68	3,5	4,2	13,2	18,08	25,88	11,19	17,37	24,44	29,33
205	3	7	1010	0,68	6,25	4,6	8,4	12,35	20,49	10,00	12,73	19,09	24,00
206	3	7	1010	0,7	6	4	8,8	14,19	21,46	9,89	11,89	20,95	25,14
207	3	7	1001	0,53	0,5	5,4	22,6	32,29	37,67	23,79	28,25	34,77	34,77
208	3	7	1001	0,55	0,5	6,6	20	28,99	32,26	21,05	32,79	33,33	33,33
209	3	7	1001	0,56	4	6,6	20,1	27,53	32,95	19,90	23,93	30,92	33,50
210	3	7	1001	0,58	3	6,8	16	26,23	30,77	19,05	23,19	30,77	30,77

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
211	3	7	1001	0,59	5	7,2	13,6	23,05	28,33	15,45	21,25	27,76	28,33
212	3	7	1001	0,6	4	7	15,1	23,23	29,04	16,78	21,57	24,75	26,03
213	3	7	1001	0,68	7,75	5,4	11	20,37	20,37	13,92	17,74	23,91	25,58
214	3	7	1011	0,5	0,5	4	22,5	31,25	39,47	24,73	31,69	34,62	41,67
215	3	7	1011	0,5	2	5	14,5	22,66	30,85	15,93	19,86	26,36	31,52
216	3	7	1011	0,53	4	5	13,8	21,90	27,60	14,84	18,65	24,64	27,60
217	3	7	1011	0,55	0,75	5,6	16,4	24,48	30,37	16,91	23,43	28,28	33,47
218	3	7	1011	0,55	3,5	4,6	14,4	22,15	29,39	15,48	21,18	26,18	28,80
219	3	7	1011	0,58	5,25	4,6	11,9	20,52	26,44	12,66	18,59	20,88	27,67
220	3	7	1011	0,58	4	6,6	12,2	20,33	26,52	13,71	19,68	21,79	29,76
221	3	7	1011	0,6	7,25	5,2	10,5	18,75	25,61	10,94	16,15	21,88	24,42
222	3	9	0	0,85	3,5	0	9,9	15,23	21,06	11,25	15,47	19,80	22,00
223	3	9	0	0,9	4,5	0	9,2	12,60	18,78	10,34	10,34	16,43	19,17
224	3	9	0	0,95	4,5	0	7,2	11,80	17,14	7,20	10,29	15,65	17,14
225	3	9	0	1	9	0	4,8	8,89	13,33	6,23	6,86	11,16	12,97
226	3	9	1000	0,7	0	3,6	15,9	18,49	23,38	14,20	20,38	24,84	26,50
227	3	9	1000	0,75	0	0	11,3	14,49	18,23	10,76	14,49	19,15	23,06
228	3	9	1000	0,8	2,5	5	7,8	12,58	16,25	9,40	13,93	17,33	19,02
229	3	9	1000	0,85	3,75	5,2	7,1	10,60	13,65	7,98	10,76	14,79	17,32
230	3	9	1000	0,9	7,25	4	4,8	8,73	13,71	5,85	8,89	12,63	15,00
231	3	9	1010	0,68	2,25	4,6	9,1	11,82	17,84	9,58	12,13	19,36	21,67

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
232	3	9	1010	0,73	3	4,6	7,8	10,83	15,92	8,04	11,30	16,96	19,02
233	3	9	1010	0,75	2	3,8	7,4	10,42	16,82	8,60	11,94	17,62	21,76
234	3	9	1010	0,8	7,75	4,8	4,4	6,77	11,58	4,15	6,29	7,72	10,00
235	3	9	1010	0,97	6	4,6	5	8,20	12,82	6,10	9,26	11,90	15,63
236	3	9	1001	0,73	1,25	4,2	11,4	13,26	20,00	12,39	15,00	18,10	21,51
237	3	9	1001	0,75	2,25	0	10,9	17,58	22,24	13,13	17,58	20,57	25,95
238	3	9	1001	0,78	5	4,2	11,4	13,26	20,00	12,39	15,00	18,10	21,51
239	3	9	1001	0,8	1,5	0	12,3	18,92	21,96	14,47	18,09	21,96	24,60
240	3	9	1001	0,8	5,5	5	7,6	12,67	17,27	10,00	13,10	17,27	18,10
241	3	9	1011	0,6	0,5	3,8	13,3	21,11	27,71	16,42	20,46	27,71	30,93
242	3	9	1011	0,65	3	5,6	6	10,17	16,67	8,82	12,00	17,65	22,22
243	3	9	1011	0,65	2,25	5	8,6	13,87	21,50	9,89	12,65	20,48	25,29
244	3	9	1011	0,7	4,5	4,4	8,3	16,60	23,71	15,37	17,29	22,43	24,41
245	3	9	1011	0,73	5,75	5,2	5,2	11,30	19,26	8,13	10,61	17,33	20,80
246	3	9	1011	0,75	9	4	3,5	8,75	15,22	5,47	7,45	14,00	15,91
247	5	5	0	0,5	2	0	17,7	20,58	32,18	15,95	20,82	30,00	35,40
248	5	5	0	0,53	2,5	0	18,7	24,29	32,24	17,98	25,97	30,16	34,63
249	5	5	0	0,55	5	0	13,7	16,71	27,40	12,12	15,93	23,62	27,96
250	5	5	0	0,58	7	0	12,4	18,51	26,96	13,19	16,32	26,38	27,56
251	5	5	1000	0,4	0,5	3,6	21,9	25,47	31,74	20,28	27,04	28,44	33,69
252	5	5	1000	0,45	3	4	17,7	22,69	29,02	14,75	21,85	27,66	28,10

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
253	5	5	1000	0,5	5	3,8	9,9	16,50	22,50	9,71	13,75	19,04	26,76
254	5	5	1000	0,55	7,75	3,4	9,5	14,18	22,09	5,49	8,80	13,97	16,38
255	5	5	1010	0,43	2,5	3	20,7	22,02	31,85	19,17	24,64	29,57	35,69
256	5	5	1010	0,45	4,25	0	19,6	19,80	27,22	14,10	15,93	24,81	33,22
257	5	5	1010	0,48	5,5	2,8	15,2	17,08	26,21	13,82	14,34	25,76	31,02
258	5	5	1010	0,5	7,75	3,2	12,7	15,88	23,96	8,58	15,30	22,28	25,40
259	5	5	1001	0,44	1,5	4,2	16,7	26,94	36,30	23,52	26,94	37,95	39,76
260	5	5	1001	0,45	2,5	4,2	15,7	26,61	37,38	20,93	27,54	35,68	41,32
261	5	5	1001	0,48	5,25	4,4	11,7	22,50	36,56	16,71	27,21	35,45	37,74
262	5	5	1001	0,5	6	3,8	10,3	21,91	41,20	18,07	20,60	30,29	38,15
263	5	5	1011	0,41	2	4,8	19,7	26,62	35,82	17,59	26,27	31,27	39,40
264	5	5	1011	0,43	4	4,6	20	21,98	31,25	15,63	21,28	24,39	30,77
265	5	5	1011	0,44	5,25	5,4	15,7	20,39	29,07	17,07	17,44	28,55	27,54
266	5	5	1011	0,45	7,5	5,4	12,2	19,06	30,50	14,19	18,21	24,90	29,76
267	5	7	0	0,55	0,25	0	14,6	16,40	27,55	11,15	15,87	24,75	31,74
268	5	7	0	0,6	3,5	0	13,6	17,00	25,19	9,38	14,17	21,59	26,67
269	5	7	0	0,63	4	0	7,8	12,38	21,08	7,88	10,68	16,96	22,94
270	5	7	0	0,65	7,5	0	9,1	14,00	23,33	8,05	10,22	16,85	20,22
271	5	7	1000	0,55	0,5	5,2	14,1	20,14	27,65	16,02	21,36	28,20	30,00
272	5	7	1000	0,6	5,25	6,2	8,3	14,31	20,24	9,88	14,07	20,75	21,28
273	5	7	1000	0,63	4,25	6,2	9,7	13,29	19,02	8,51	14,06	21,09	20,64

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
274	5	7	1000	0,65	4,5	6,8	8,3	14,31	20,75	9,43	14,31	20,24	23,71
275	5	7	1000	0,7	8	6	7,3	12,37	18,25	7,45	11,23	16,98	14,60
276	5	7	1000	0,75	8,5	4,8	5,9	11,57	17,35	6,56	9,83	15,95	19,03
277	5	7	10	0,6	2	4,4	10,5	13,46	23,86	10,40	15,22	25,61	26,92
278	5	7	10	0,63	5,5	5,4	9,2	11,36	20,44	9,20	12,60	20,91	23,59
279	5	7	1010	0,58	1,5	4,8	10,9	15,14	22,71	9,73	16,52	24,77	31,14
280	5	7	1010	0,65	6	4,8	7	11,11	18,92	7,61	11,86	19,44	26,92
281	5	7	1010	0,68	6,75	5	6,6	10,00	17,84	6,80	11,19	16,50	21,29
282	5	7	1001	0,53	2,25	5,8	17,8	27,81	35,60	20,94	27,38	33,58	35,60
283	5	7	1001	0,55	5	9,2	7,6	15,83	20,54	11,69	15,20	19,49	21,71
284	5	7	1001	0,55	2,5	7,8	8,3	19,30	24,41	14,07	20,24	23,71	25,15
285	5	7	1001	0,58	5,25	7,8	9,3	19,38	24,47	14,31	18,60	21,63	23,85
286	5	7	1001	0,6	6,25	8,6	4,9	14,85	19,60	10,21	14,85	17,50	18,85
287	5	7	1011	0,48	1,5	5	11,4	18,39	27,14	12,39	17,54	25,33	27,14
288	5	7	1011	0,5	1,75	6	9,3	16,32	24,47	10,94	16,03	21,14	25,83
289	5	7	1011	0,5	3	8	7	11,11	18,92	7,61	11,86	19,44	26,92
290	5	7	1011	0,53	2,75	6,6	8,5	15,45	21,79	10,00	14,17	18,89	22,37
291	5	7	1011	0,55	5,25	6,2	8,8	13,54	22,00	9,57	12,75	20,00	23,78
292	5	7	1011	0,55	4,25	7,8	4,7	13,06	19,58	9,79	12,70	18,80	31,33
293	5	7	1011	0,58	6	6	6,8	13,08	28,33	7,91	11,93	18,38	21,25
294	5	9	1000	0,7	2,25	5	7,8	8,48	13,45	6,45	8,48	15,60	21,08

Lampiran 1: Data Normal Weight Aggregate (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

No. Urut	Input							Output					
	semen	a/c	admix	w/c	slump	air %	K-5	Besar		Kecil			
								7 days	28 days	3day	7day	28day	91day
295	5	9	1000	0,75	2,5	4,4	6,9	8,41	14,68	6,00	8,52	15,33	22,26
296	5	9	1000	0,85	7,25	3,6	4,4	6,38	11,58	3,64	5,43	9,78	13,33
297	5	9	1000	0,9	8,5	4,2	5,4	6,43	12,56	3,55	6,59	11,49	16,88
298	5	9	1010	0,7	0,5	4,6	10,6	7,91	15,82	4,75	8,28	15,82	22,08
299	5	9	1010	0,75	3,25	4,8	7,2	7,06	15,00	4,50	7,58	15,00	18,00
300	5	9	1010	0,8	5,25	4,6	6,2	5,79	12,92	3,90	6,46	14,09	16,76
301	5	9	1010	0,85	7,5	4	3,8	5,21	9,74	3,04	5,51	10,00	14,07
302	5	9	1010	0,88	9	4	2,6	3,61	9,29	2,18	3,66	6,50	10,40
303	5	9	1001	0,63	1,5	6,2	9	13,04	20,00	9,89	13,04	20,93	24,32
304	5	9	1001	0,65	3,5	6	8,4	11,67	17,87	7,00	11,83	17,87	21,54
305	5	9	1001	0,7	5,5	4	6,1	9,84	16,05	6,49	9,84	16,49	17,94
306	5	9	1001	0,73	6,25	5,8	5,5	8,59	17,19	6,63	9,17	17,74	21,15
307	5	9	1011	0,63	2,75	6,6	4,4	5,64	11,89	4,49	6,03	12,94	19,13
308	5	9	1011	0,65	1	5,8	6,1	7,26	14,88	6,42	8,24	15,64	21,79
309	5	9	1011	0,7	4,75	6,4	4	5,80	11,76	4,26	6,90	12,50	19,05
310	5	9	1011	0,73	0	5,8	3,8	5,76	11,88	4,27	6,33	13,10	19,00
311	5	9	1011	0,74	1,5	6,4	6	7,41	14,63	5,61	8,33	16,22	24,00

Lampiran 1: Data *Normal Weight Aggregate* (Data Nasser dan Beaton, 1980) Lanjutan

Keterangan

<i>Admixture</i>	
0	<i>no admix</i>
1	P
10	F
100	C
1000	A
1001	AP
1010	AF
1011	AFP
1100	AC

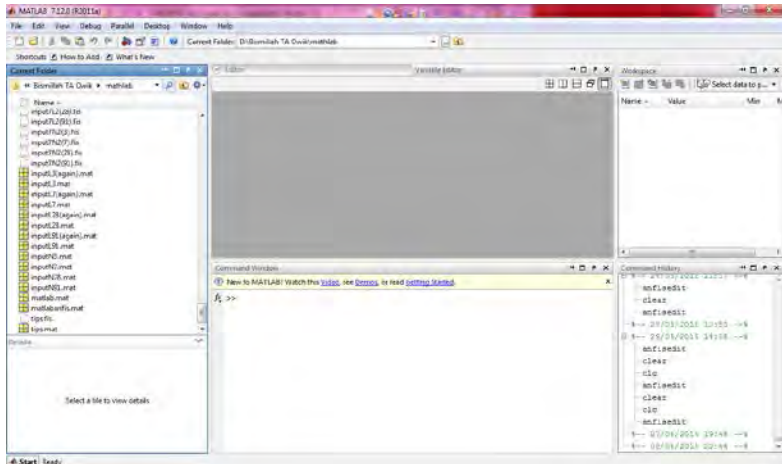
<i>Admixture</i>	
A	<i>Air-entraining Agent</i>
C	<i>Calcium Chloride</i>
F	<i>Fly Ash</i>
P	<i>Pozzolith</i>

<i>Aggregate</i>	
1	<i>Normal Weight</i>
10	<i>Light Weight</i>

<i>Cement</i>	
1	<i>Portland Cement Type I (10)</i>
3	<i>Portland Cement Type III (30)</i>
5	<i>Portland Cement Type V (50)</i>

Lampiran 2: Tahapan Pembuatan Permodelan ANFIS

1. Buka *software* analisa matematika, disini digunakan Matlab 2011a



Gambar 1 Tampilan Jendela Awal Matlab

2. Dalam ANFIS, untuk menginput data *training*, *testing* dan *checking* secara manual satu per satu. Data yang diinput dalam bentuk *workspace*. Definisikan data *training*, *testing* dan *checking* pada *workspace*. Dalam pendefinisian ini dipakai nama sebagai berikut :

- train1 untuk data training kombinasi input 1
- test1 untuk data testing kombinasi input 1
- check1 untuk data checking kombinasi input 1

Tiap kombinasi input, diakhir penamaan diberi angka untuk membedakannya. Lalu disimpan menjadi satu file *workspace* (.mat), dengan penamaan sesuai umur yang digunakan. Untuk umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

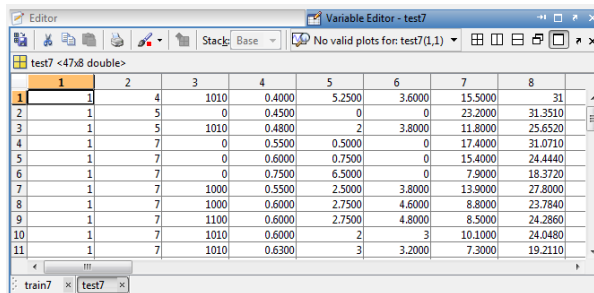
Name	Value	Min	Max
check1	<47x2 double>	3.8000	36
check2	<47x3 double>	0.3800	36
check3	<47x4 double>	0.3800	36
check4	<47x5 double>	0.3800	36
check5	<47x6 double>	0	11
check6	<47x7 double>	0	11
check7	<47x8 double>	0	11
test1	<47x2 double>	2.6000	32
test2	<47x3 double>	0.4000	32
test3	<47x4 double>	0.4000	32
test4	<47x5 double>	0.4000	32
test5	<47x6 double>	0	11
test6	<47x7 double>	0	11
test7	<47x8 double>	0	11
train1	<217x2 double>	1.6000	45
train2	<217x3 double>	0.3800	45
train3	<217x4 double>	0.3800	45
train4	<217x5 double>	0.3800	45
train5	<217x6 double>	0	11
train6	<217x7 double>	0	11
train7	<217x8 double>	0	11

Gambar 2 Tampilan 1 File *Workspace*

3. Setelah data *training*, *testing* dan *checking* didefinisikan namanya, data tersebut diklik 2x sampai muncul lembar *variable editor* berupa lembar excel untuk memasukkan data yang dibutuhkan sesuai kombinasi input seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 berikut.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3	0	0.3900	0	0	31.3000	35.5680
2	1	3	0	0.4700	0	0	18.6000	26.9570
3	1	3	0	0.3900	0.5000	0	28.6000	36.2030
4	1	3.4000	0	0.4000	0.5000	0	23.5000	34.5590
5	1	3.5000	0	0.4100	2	0	26.5000	27.8950
6	1	3.5000	1001	0.3800	1.2500	5.8000	19.9000	35.5360
7	1	5	0	0.5000	0	0	16.2000	35.2170
8	1	5	0	0.5500	0	0	16.1000	29.8150
9	1	5	0	0.6000	0	0	11	25.5810
10	1	5	0	0.6500	0	0	8.5000	20.7320
11	1	5	1000	0.4800	0.5000	3.4000	18.6000	32.6320
12	1	5	1000	0.5000	4	3.8000	13	27.6600

Gambar 3 Tampilan *Variable Editor* Data *Training*



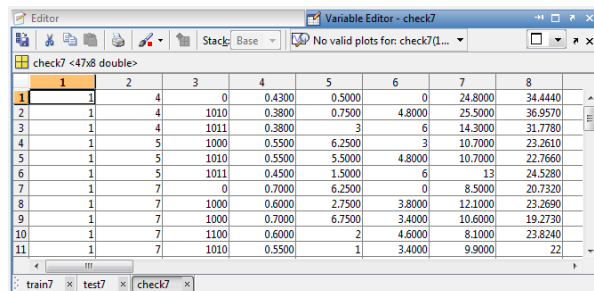
Variable Editor - test7

No valid plots for test7(1,1)

test7 <47x8 double>

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4	1010	0.4000	5.2500	3.6000	15.5000	31
2	1	5	0	0.4500	0	0	23.2000	31.3510
3	1	5	1010	0.4800	2	3.8000	11.8000	25.6520
4	1	7	0	0.5500	0.5000	0	17.4000	31.0710
5	1	7	0	0.6000	0.7500	0	15.4000	24.4440
6	1	7	0	0.7500	6.5000	0	7.9000	18.3720
7	1	7	1000	0.5500	2.5000	3.8000	13.9000	27.8000
8	1	7	1000	0.6000	2.7500	4.6000	8.8000	23.7840
9	1	7	1100	0.6000	2.7500	4.8000	8.5000	24.2860
10	1	7	1010	0.6000	2	3	10.1000	24.0480
11	1	7	1010	0.6300	3	3.2000	7.3000	19.2110

train7 test7

Gambar 4 Tampilan *Variable Editor* Data Testing


Variable Editor - check7

No valid plots for check7(1,1)

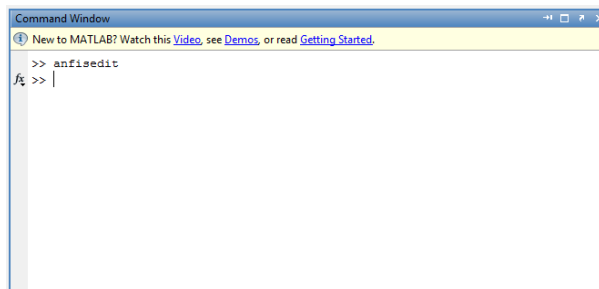
check7 <47x8 double>

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4	0	0.4300	0.5000	0	24.8000	34.4440
2	1	4	1010	0.3800	0.7500	4.8000	25.5000	36.9570
3	1	4	1011	0.3800	3	6	14.3000	31.7780
4	1	5	1000	0.5500	6.2500	3	10.7000	23.2610
5	1	5	1010	0.5500	5.5000	4.8000	10.7000	22.7660
6	1	5	1011	0.4500	1.5000	6	13	24.5280
7	1	7	0	0.7000	6.2500	0	8.5000	20.7320
8	1	7	1000	0.6000	2.7500	3.8000	12.1000	23.2690
9	1	7	1000	0.7000	6.7500	3.4000	10.6000	19.2730
10	1	7	1100	0.6000	2	4.6000	8.1000	23.8240
11	1	7	1010	0.5500	1	3.4000	9.9000	22

train7 test7 check7

Gambar 5 Tampilan *Variable Editor* Data Checking

4. Buka *ANFIS Editor* dengan memberikan *command* “anfisedit” pada *command window* seperti yang terlihat pada Gambar 6, lalu klik enter.



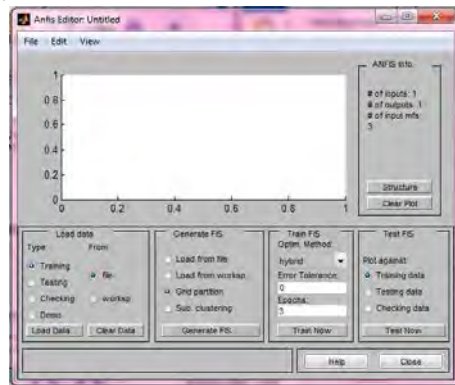
Command Window

New to MATLAB? Watch this [Video](#), see [Demos](#), or read [Getting Started](#).

```
>> anfisedit
f>
```

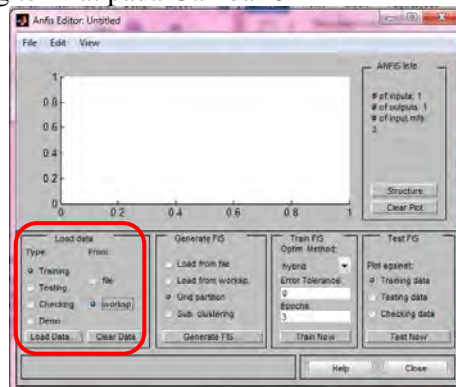
Gambar 6 Tampilan *command window*

Kemudian muncul tampilan ANFIS Editor seperti pada Gambar 7.



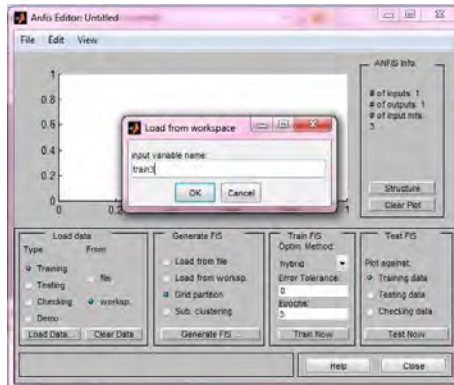
Gambar 7 Tampilan ANFIS Editor

5. Masukkan data training yang telah disiapkan seperti yang dijelaskan pada nomer 2 dan 3 dengan pilih "Training" dan "workspace" lalu klik "load data" pada kolom load data seperti yang terlihat pada Gambar 8



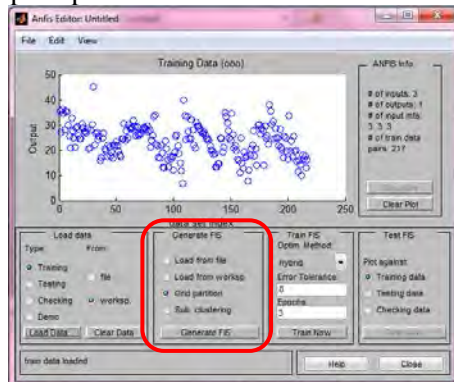
Gambar 8 Kolom Load Data untuk Training Data

Kemudian muncul tampilan jendela *Load from workspace* seperti pada Gambar 9. Disini menunjukkan cara membuat model 28 hari cetakan kecil dengan kombinasi input 3 dan variasi MF 2.



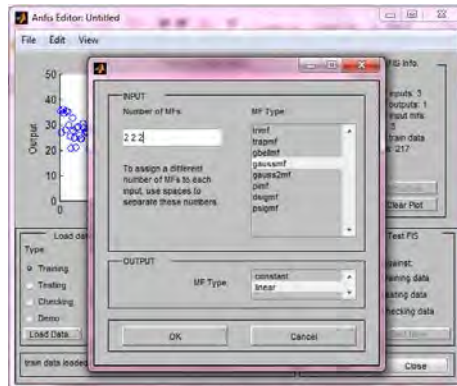
Gambar 9 Jendela *Load From Workspace* untuk *Training Data*

Diisi nama data training sesuai kombinasi input yang dibuat “train3” lalu klik “OK”. Kemudian muncul tampilan data *training* seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Tampilan Data *Training*

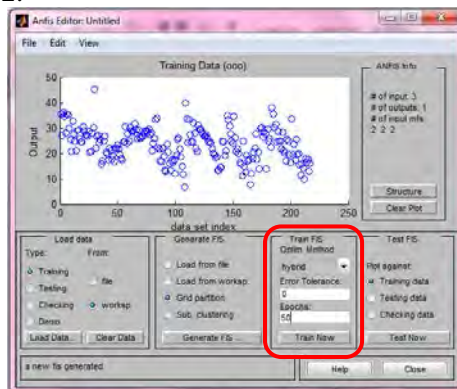
Kemudian pilih “Grid partition” , lalu klik “Generate FIS” pada kolom *Generate FIS* muncul jendela seperti pada Gambar 11.



Gambar 11 Jendela *Generate FIS*

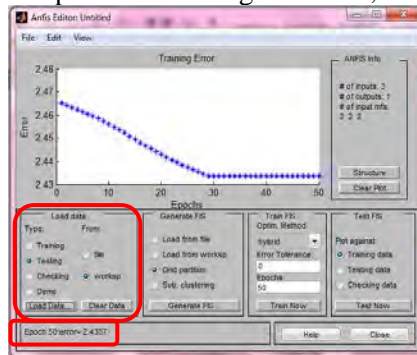
Diisi *Number of MF* sesuai variasi MF 2 sebanyak kombinasi input 3, lalu pilih “gaussmf” pada *MF Type Input*, lalu pilih “linear” pada *MF Type Output*, lalu klik “OK”.

Dilanjutkan pada kolom *Train FIS* pilih “hybrid” pada *Optim. Method*, lalu mengisi *Error Tolerance* ditulis “0”, lalu mengisi *Epochs* ditulis “50”, lalu klik “Train FIS” seperti pada Gambar 12.



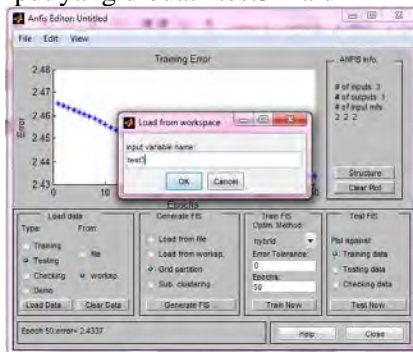
Gambar 12 Tampilan *Train FIS*

Kemudian muncul tampilan hasil *training data* seperti pada Gambar 13 didapat error training sebesar 2,4337.



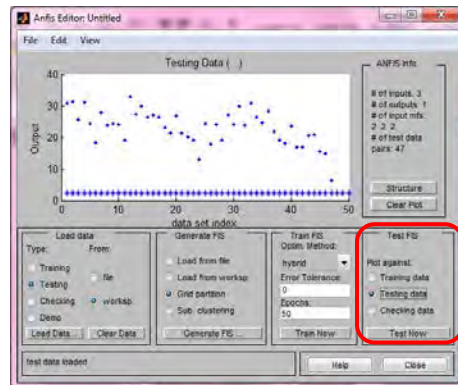
Gambar 13 Tampilan *Training error* dan Kolom *Load data* untuk *Testing Data*

- Dilanjutkan untuk testing model yang telah dibuat saat training data, masukkan data testing yang telah disiapkan seperti yang dijelaskan pada nomer 2 dan 3 dengan pilih “*Testing*” dan “*workspace*” lalu klik “*load data*” pada kolom *load data* seperti yang terlihat pada Gambar 13. Kemudian muncul tampilan jendela *Load from workspace* untuk *testing data* seperti pada Gambar 14. Diisi nama data testing sesuai kombinasi input yang dibuat “*test3*” lalu klik “*OK*”.



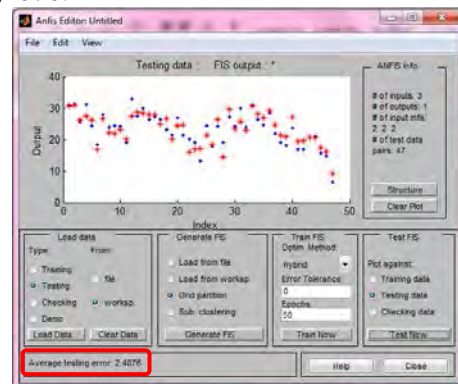
Gambar 14 Jendela *Load From Workspace* untuk *Testing Data*

Kemudian muncul tampilan data *testing* seperti pada Gambar 15.



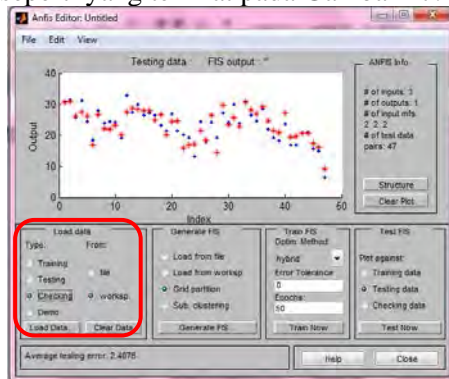
Gambar 15 Tampilan *Testing data* dan Kolom *Test FIS* untuk *Testing Data*

Setelah data *testing* muncul, dilanjutkan pada kolom *Test FIS* pilih “*Testing data*” lalu klik “*Test Now*” seperti yang terlihat pada Gambar 15. Kemudian muncul tampilan hasil *testing data* seperti pada Gambar 16 didapat *average error testing* sebesar 2,4076.



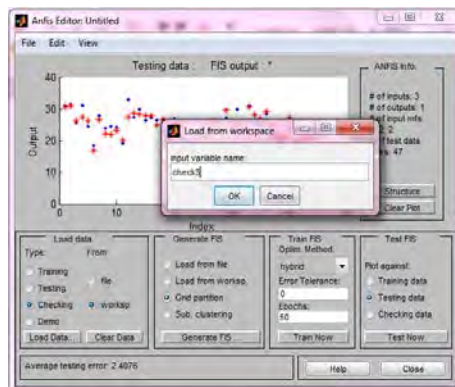
Gambar 16 Tampilan Hasil *Testing Data*

7. Dilanjutkan untuk checking model yang telah dibuat saat training data, masukkan data checking yang telah disiapkan seperti yang dijelaskan pada nomer 2 dan 3 dengan pilih “Testing” dan “workspace” lalu klik “load data” pada kolom load data seperti yang terlihat pada Gambar 17.



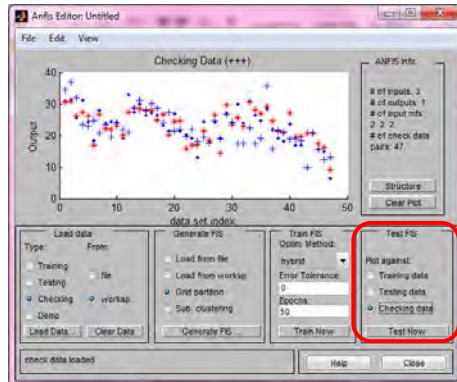
Gambar 17 Kolom Load Data untuk Checking Data

Kemudian muncul tampilan jendela *Load from workspace* untuk *checking data* seperti pada Gambar 18. Diisi nama data testing sesuai kombinasi input yang dibuat “check3” lalu klik “OK”.



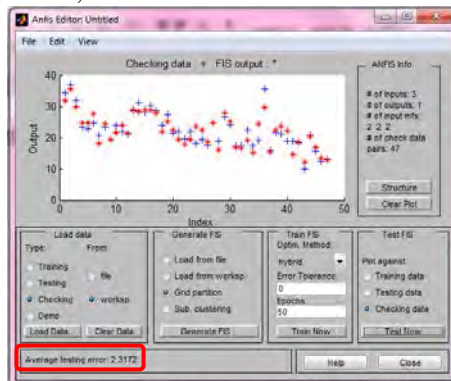
Gambar 18 Jendela Load From Workspace untuk Checking Data

Kemudian muncul tampilan data *checking* seperti pada Gambar 19.



Gambar 19 Tampilan *Checking Data* dan Kolom *Test FIS* untuk *Checking Data*

Setelah data *checking* muncul, dilanjutkan pada kolom *Test FIS* pilih “*Checking data*” lalu klik “*Test Now*” seperti yang terlihat pada Gambar 19. Kemudian muncul tampilan hasil *testing data* seperti pada Gambar 20 didapat *average error testing* sebesar 2,4076.



Gambar 20 Tampilan Hasil *Checking Data*

Dalam lampiran ini hanya menunjukkan cara membuat model 28 hari cetakan kecil dengan kombinasi input 3 dan variasi MF 2. Untuk membuat model yang lain dapat dimulai dari petunjuk nomer 4 hingga nomer 7.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**Lampiran 3: Nilai RMSE Hasil Permodelan ANFIS Data
Normal Weight Aggregate**

Tabel 1 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	3,3182	3,3391	3,2185
	3	3,2756	3,3012	3,2094
	4	3,2442	3,4375	3,2478
	5	3,2332	3,4439	3,2599
2	2	2,9833	2,9593	2,9389
	3	2,7146	3,2207	3,8350
	4	2,6417	3,4962	3,2663
	5	2,5241	3,7125	5,9187
3	2	2,3505	2,5851	2,5282
	3	2,0381	3,0323	3,1412
	4	1,7420	6,1859	3,7033
	5	1,5758	5,0218	5,4248
4	2	1,8906	2,5736	2,8621
	3	1,4910	3,6243	10,0159
	4	1,1546	14,5576	22,3585
	5	*	*	*
5	2	1,1259	13,2654	49,7940
	3	0,5503	33,4652	105,3003
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,5004	16,9731	34,5463
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,1994	17,4333	39,1467
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

Tabel 2 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	2,4476	2,4891	2,5660
	3	2,4155	2,4853	2,6072
	4	2,4050	2,4823	2,5365
	5	2,3817	2,5236	2,5912
2	2	2,2429	2,3830	2,4147
	3	2,0950	2,4280	3,1253
	4	2,0646	2,4805	2,5939
	5	1,9580	4,5976	10,2801
3	2	1,9493	2,0959	2,2212
	3	1,6840	2,5257	3,0670
	4	1,6840	2,5257	3,0670
	5	1,3587	3,4832	6,1670
4	2	1,6652	2,1333	2,1168
	3	1,1427	38,1517	12,2433
	4	0,9715	10,1320	19,5904
	5	*	*	*
5	2	1,0184	19,9424	16,0085
	3	0,5633	34,7717	103,9068
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,5239	10,4693	27,7008
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,2337	10,8669	16,5818
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

Tabel 3 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	2,9917	3,0769	2,5697
	3	2,9709	3,0749	2,5571
	4	2,9378	3,1534	2,6329
	5	2,9290	3,1346	2,6753
2	2	2,6923	3,0163	2,5218
	3	2,4415	3,0454	3,0305
	4	2,2998	3,2809	3,1092
	5	2,2551	3,3990	3,5695
3	2	2,3827	2,8223	2,4016
	3	1,8702	4,4011	3,3617
	4	1,7168	4,3541	3,9521
	5	1,4520	8,1041	4,1363
4	2	1,9055	3,0086	2,9099
	3	1,3263	8,5112	9,1128
	4	0,9794	24,0704	27,7913
	5	*	*	*
5	2	1,1200	19,8230	5,0869
	3	0,5743	21,4860	257,4323
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,5508	15,4338	7,9883
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,2818	34,7639	50,3619
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

Tabel 4 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	3,0205	2,8977	2,9533
	3	2,9913	2,9268	2,9382
	4	2,9902	2,9767	2,8131
	5	2,9708	2,8452	2,9986
2	2	2,6450	2,5954	2,5574
	3	2,4083	2,7253	2,8645
	4	2,3609	2,5650	2,8025
	5	2,2457	3,2617	3,6627
3	2	2,4337	2,4076	2,3172
	3	2,1383	4,4926	2,9800
	4	1,9444	4,2512	4,0097
	5	1,6817	15,6708	6,1347
4	2	2,0203	2,9463	3,7585
	3	1,5771	6,0611	7,2790
	4	1,1794	24,4562	35,1289
	5	*	*	*
5	2	1,1191	26,3642	5,8670
	3	0,5765	22,6136	65,5753
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,5031	18,1385	16,9073
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,1962	15,4616	17,9729
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

Tabel 5 Nilai RMSE Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215mm dari ANFIS

Input Data	MF	Average Error		
		Training	Testing	Checking
1	2	4,1099	3,7423	4,5872
	3	4,0326	3,5921	4,6720
	4	4,0118	3,6356	4,6375
	5	3,9194	3,6284	4,7748
2	2	3,5404	3,1070	3,2469
	3	3,2970	3,1075	3,6014
	4	3,1746	3,0550	3,3574
	5	2,9039	4,1013	5,1168
3	2	3,2731	2,8816	3,3718
	3	2,9329	3,5843	4,8070
	4	2,5573	7,1198	11,9137
	5	2,2377	11,1819	14,6388
4	2	2,8283	3,3139	4,6650
	3	2,0684	13,8239	16,9698
	4	1,6288	23,5623	20,8677
	5	*	*	*
5	2	1,6863	13,8960	42,4828
	3	0,8613	71,8405	145,2217
	4	*	*	*
	5	*	*	*
6	2	0,8502	23,1181	15,2109
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*
7	2	0,4310	37,7038	105,7117
	3	*	*	*
	4	*	*	*
	5	*	*	*

*Model tidak bisa di-*running*, karena terbatasnya memori laptop

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 4: Perhitungan Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
1	31,30	36,82
2	18,60	26,20
3	28,60	33,26
4	23,50	32,19
5	26,50	31,18
6	19,90	36,18
7	16,20	26,56
8	16,10	23,00
9	11,00	18,03
10	8,50	15,74
11	18,60	24,16
12	13,00	23,21
13	11,70	20,17
14	8,90	17,80
15	14,70	22,62
16	16,30	22,96
17	12,60	21,00
18	12,20	17,43
19	11,00	17,46
20	18,60	30,49
21	13,60	25,66
22	12,30	24,60
23	10,70	26,10
24	10,10	25,90
25	16,30	25,87
26	10,80	22,50
27	9,00	18,37
28	15,40	27,50
29	25,40	23,30
30	38,50	35,32
31	11,70	17,73
32	15,50	21,53
33	15,60	21,37
34	14,10	19,32

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
35	12,00	18,75
36	5,50	11,96
37	10,00	15,38
38	13,10	23,82
39	13,60	21,25
40	12,60	17,26
41	6,90	15,00
42	10,00	16,67
43	9,70	16,44
44	5,70	15,83
45	11,30	16,14
46	5,20	14,05
47	7,90	14,11
48	6,80	17,89
49	5,50	18,33
50	16,10	22,05
51	9,40	15,16
52	6,60	11,58
53	6,10	12,20
54	5,50	8,59
55	12,20	19,06
56	11,50	15,75
57	16,20	30,00
58	10,10	16,56
59	13,50	24,55
60	11,00	22,92
61	20,20	27,30
62	17,90	24,52
63	15,20	22,69
64	17,80	24,05
65	24,00	27,59
66	18,50	22,56
67	18,20	22,20
68	14,30	24,66
69	15,50	25,41
70	17,00	25,00
71	16,70	24,56
72	14,50	25,00

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
73	14,60	25,17
74	14,50	26,85
75	14,70	26,25
76	15,50	27,19
77	14,50	26,85
78	14,70	24,92
79	15,70	28,55
80	7,60	20,00
81	9,10	22,20
82	7,50	16,67
83	14,30	26,98
84	15,60	26,44
85	8,30	16,94
86	6,70	16,75
87	6,70	15,58
88	7,00	14,58
89	11,00	17,74
90	5,90	11,80
91	3,70	10,00
92	3,60	9,47
93	13,50	16,46
94	8,80	11,43
95	7,60	12,06
96	5,60	9,18
97	9,80	10,65
98	8,40	9,55
99	8,30	11,53
100	6,80	8,10
101	12,00	11,32
102	14,30	21,67
103	11,70	19,18
104	10,60	16,56
105	6,00	12,00
106	5,30	11,52
107	2,10	7,00
108	1,60	5,00
109	33,90	43,46
110	30,70	32,32

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
111	13,30	20,15
112	17,30	29,83
113	15,10	25,59
114	15,40	22,00
115	12,00	22,22
116	16,70	29,82
117	12,00	24,00
118	12,40	20,33
119	7,90	19,27
120	22,00	27,85
121	26,90	34,49
122	23,10	34,48
123	16,60	28,14
124	18,20	24,93
125	25,50	28,65
126	23,20	28,64
127	31,50	28,64
128	13,10	19,55
129	15,20	20,27
130	15,20	20,27
131	11,30	20,55
132	11,00	17,46
133	8,10	16,88
134	9,70	17,02
135	7,70	17,11
136	7,10	16,90
137	9,20	12,60
138	6,70	12,64
139	4,10	12,81
140	4,80	12,63
141	13,60	19,15
142	13,20	18,08
143	8,40	12,35
144	8,80	14,19
145	22,60	32,29
146	20,00	28,99
147	16,00	26,23
148	13,60	23,05

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
149	15,10	23,23
150	11,00	20,37
151	22,50	31,25
152	14,40	22,15
153	11,90	20,52
154	10,50	18,75
155	9,90	15,23
156	9,20	12,60
157	7,20	11,80
158	4,80	8,89
159	15,90	18,49
160	7,10	10,60
161	4,80	8,73
162	9,10	11,82
163	7,80	10,83
164	7,40	10,42
165	4,40	6,77
166	5,00	8,20
167	11,40	13,26
168	10,90	17,58
169	12,30	18,92
170	13,30	21,11
171	6,00	10,17
172	8,60	13,87
173	3,50	8,75
174	17,70	20,58
175	18,70	24,29
176	12,40	18,51
177	21,90	25,47
178	17,70	22,69
179	9,50	14,18
180	20,70	22,02
181	19,60	19,80
182	15,20	17,08
183	12,70	15,88
184	16,70	26,94
185	11,70	22,50
186	10,30	21,91

Tabel 1 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
187	19,70	26,62
188	20,00	21,98
189	15,70	20,39
190	12,20	19,06
191	14,60	16,40
192	13,60	17,00
193	14,10	20,14
194	9,70	13,29
195	8,30	14,31
196	7,30	12,37
197	10,50	13,46
198	10,90	15,14
199	7,00	11,11
200	6,60	10,00
201	17,80	27,81
202	7,60	15,83
203	8,30	19,30
204	4,90	14,85
205	11,40	18,39
206	7,00	11,11
207	8,80	13,54
208	6,90	8,41
209	5,40	6,43
210	10,60	7,91
211	6,20	5,79
212	3,80	5,21
213	8,40	11,67
214	6,10	9,84
215	5,50	8,59
216	4,40	5,64
217	6,00	7,41
Intercept (A)		6,62
Slope (B)		1,00

Didapat Intercept (A) = 6, 62 dan Slope (B) = 1,00, maka rumus metode linear untuk umur 7 hari silinder 152 x 305 mm dari:

$$y = 6,3 + 1,02x$$

menjadi:

$$y = 6,62 + 1,00x$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 7 hari untuk silinder 152 x 305 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
1	31,30	27,95
2	18,60	18,60
3	28,60	26,73
4	23,50	24,23
5	26,50	22,65
6	19,90	20,95
7	16,20	17,80
8	16,10	16,10
9	11,00	10,19
10	8,50	9,77
11	18,60	18,60
12	13,00	17,81
13	11,70	12,45
14	8,90	10,85
15	14,70	16,52
16	16,30	13,81
17	12,60	12,99
18	12,20	15,25
19	11,00	12,36
20	18,60	23,54
21	13,60	17,22
22	12,30	18,92
23	10,70	16,21
24	10,10	15,54
25	16,30	16,14
26	10,80	14,03
27	9,00	10,59
28	15,40	17,50
29	25,40	17,89
30	38,50	28,95
31	11,70	12,72

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
32	15,50	16,32
33	15,60	13,93
34	14,10	13,82
35	12,00	12,50
36	5,50	5,39
37	10,00	6,37
38	13,10	16,79
39	13,60	13,08
40	12,60	14,00
41	6,90	9,72
42	10,00	10,42
43	9,70	9,70
44	5,70	9,05
45	11,30	9,58
46	5,20	6,93
47	7,90	7,82
48	6,80	13,33
49	5,50	13,75
50	16,10	16,10
51	9,40	10,22
52	6,60	8,57
53	6,10	7,09
54	5,50	5,34
55	12,20	10,25
56	11,50	13,53
57	16,20	21,60
58	10,10	13,29
59	13,50	17,76
60	11,00	15,49
61	20,20	21,04
62	17,90	17,05
63	15,20	16,17
64	15,90	22,71
65	24,00	19,83
66	18,50	17,79
67	18,20	16,55
68	14,30	18,82
69	15,50	18,24

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
70	17,00	18,48
71	16,70	18,15
72	14,50	16,11
73	14,60	16,78
74	14,50	18,35
75	14,70	19,09
76	15,50	19,62
77	14,50	20,14
78	14,70	17,29
79	15,70	19,38
80	7,60	12,88
81	9,10	11,23
82	7,50	14,71
83	14,30	17,44
84	15,60	16,25
85	8,30	9,54
86	6,70	8,27
87	6,70	9,18
88	7,00	9,21
89	11,00	12,09
90	5,90	7,97
91	3,70	5,78
92	3,60	5,45
93	13,50	13,78
94	8,80	11,89
95	7,60	9,27
96	5,60	8,00
97	9,80	8,10
98	8,40	7,78
99	8,30	7,55
100	6,80	6,30
101	12,00	8,57
102	14,30	15,71
103	11,70	14,44
104	10,60	10,19
105	6,00	9,38
106	5,30	6,79
107	2,10	5,00

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
108	1,60	2,25
109	33,90	29,22
110	30,70	18,38
111	13,30	17,27
112	17,30	18,60
113	15,10	14,52
114	15,40	15,40
115	12,00	15,38
116	16,70	17,40
117	12,00	16,44
118	12,40	14,76
119	7,90	9,29
120	22,00	18,97
121	26,90	19,08
122	23,10	19,09
123	16,60	19,08
124	18,20	17,67
125	25,50	20,73
126	23,20	20,71
127	31,50	23,16
128	13,10	13,79
129	15,20	16,52
130	15,20	16,52
131	11,30	11,41
132	11,00	9,91
133	8,10	11,10
134	9,70	11,02
135	7,70	12,22
136	7,10	12,24
137	9,20	8,07
138	6,70	8,17
139	4,10	10,00
140	4,80	10,00
141	13,60	11,43
142	13,20	11,19
143	8,40	10,00
144	8,80	9,89
145	22,60	23,79

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
146	20,00	21,05
147	16,00	19,05
148	13,60	15,45
149	15,10	16,78
150	11,00	13,92
151	22,50	24,73
152	14,40	15,48
153	11,90	12,66
154	10,50	10,94
155	9,90	11,25
156	9,20	10,34
157	7,20	7,20
158	4,80	6,23
159	15,90	14,20
160	7,10	7,98
161	4,80	5,85
162	9,10	9,58
163	7,80	8,04
164	7,40	8,60
165	4,40	4,15
166	5,00	6,10
167	11,40	12,39
168	10,90	13,13
169	12,30	14,47
170	13,30	16,42
171	6,00	8,82
172	8,60	9,89
173	3,50	5,47
174	17,70	15,95
175	18,70	17,98
176	12,40	13,19
177	21,90	20,28
178	17,70	14,75
179	9,5	5,49
180	20,70	19,17
181	19,60	14,10
182	15,20	13,82
183	12,70	8,58

Tabel 2 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	3d Aktual (Y)
184	16,70	23,52
185	11,70	16,71
186	10,30	18,07
187	19,70	17,59
188	20,00	15,63
189	15,70	17,07
190	12,20	14,19
191	14,60	11,15
192	13,60	9,38
193	14,10	16,02
194	9,70	8,51
195	8,30	9,43
196	7,30	7,45
197	10,50	10,40
198	10,90	9,73
199	7,00	7,61
200	6,60	6,80
201	17,80	20,94
202	7,60	11,69
203	8,30	14,07
204	4,90	10,21
205	11,40	12,39
206	7	7,61
207	8,80	9,57
208	6,90	6,00
209	5,40	3,55
210	10,60	4,75
211	6,20	3,90
212	3,80	3,04
213	8,40	7,00
214	6,10	6,49
215	5,50	6,63
216	4,40	4,49
217	6,00	5,61
Intercept (A)		3,85
Slope (B)		0,76

Didapat Intercept (A) = 3,85 dan Slope (B) = 0,76, maka rumus metode linear untuk umur 3 hari silinder 75 x 215 mm dari:

$$y = 3,0 + 0,86x$$

menjadi:

$$y = 3,85 + 0,76x$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 3 hari untuk silinder 75 x 215 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
1	31,30	30,39
2	18,60	20,00
3	28,60	32,13
4	23,50	34,06
5	26,50	27,89
6	19,90	30,62
7	16,20	27,00
8	16,10	22,05
9	11,00	16,18
10	8,50	11,97
11	18,60	23,85
12	13,00	22,41
13	11,70	20,17
14	8,90	16,18
15	14,70	21,00
16	16,30	22,64
17	12,60	18,81
18	12,20	20,00
19	11,00	17,74
20	18,60	27,35
21	13,60	23,86
22	12,30	20,85
23	10,70	21,40
24	10,10	19,80
25	16,30	22,03
26	10,80	18,62
27	9,00	16,98

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
28	15,40	22,99
29	25,40	22,68
30	38,50	37,75
31	11,70	15,81
32	15,50	20,67
33	15,60	19,26
34	14,10	19,32
35	12,00	17,14
36	5,50	10,38
37	10,00	11,36
38	13,10	22,20
39	13,60	20,00
40	12,60	16,80
41	6,90	13,53
42	10,00	16,13
43	9,70	17,02
44	5,70	14,62
45	11,30	14,68
46	5,20	10,20
47	7,90	9,75
48	6,80	17,00
49	5,50	16,67
50	16,10	21,47
51	9,40	16,79
52	6,60	12,22
53	6,10	13,26
54	5,50	9,17
55	12,20	20,33
56	11,50	17,16
57	16,20	26,56
58	10,10	18,36
59	13,50	22,50
60	11,00	22,00
61	20,20	25,90
62	17,90	22,38
63	15,20	22,03
64	15,90	22,39
65	24,00	26,97

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
66	18,50	23,42
67	18,20	21,41
68	14,30	24,24
69	15,50	24,60
70	17,00	20,73
71	16,70	23,52
72	14,50	20,71
73	14,60	19,47
74	14,50	23,39
75	14,70	24,50
76	15,50	20,95
77	14,50	22,66
78	14,70	21,62
79	15,70	24,92
80	7,60	17,67
81	9,10	18,20
82	7,50	15,96
83	14,30	22,34
84	15,60	22,61
85	8,30	16,60
86	6,70	16,34
87	6,70	13,40
88	7,00	14,29
89	11,00	19,30
90	5,90	14,05
91	3,70	10,00
92	3,60	8,00
93	13,50	19,01
94	8,80	14,67
95	7,60	10,41
96	5,60	10,18
97	9,80	10,77
98	8,40	9,66
99	8,30	11,22
100	6,80	8,29
101	12,00	11,88
102	14,30	20,43
103	11,70	20,89

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
104	10,60	14,13
105	6,00	11,76
106	5,30	10,39
107	2,10	7,50
108	1,60	4,44
109	33,90	38,52
110	30,70	27,66
111	13,30	23,33
112	17,30	25,07
113	15,10	21,88
114	15,40	19,74
115	12,00	19,67
116	16,70	26,09
117	12,00	21,43
118	12,40	18,51
119	7,90	14,11
120	22,00	23,40
121	26,90	20,53
122	23,10	20,44
123	16,60	25,15
124	18,20	21,67
125	25,50	21,25
126	23,20	21,09
127	31,50	27,88
128	13,10	17,70
129	15,20	19,00
130	15,20	19,00
131	11,30	19,15
132	11,00	15,07
133	8,10	13,73
134	9,70	13,66
135	7,70	16,04
136	7,10	15,78
137	9,20	12,27
138	6,70	12,41
139	4,10	12,81
140	4,80	12,97
141	13,60	17,89

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
142	13,20	17,37
143	8,40	12,73
144	8,80	11,89
145	22,60	28,25
146	20,00	32,79
147	16,00	23,19
148	13,60	21,25
149	15,10	21,57
150	11,00	17,74
151	22,50	31,69
152	14,40	21,18
153	11,90	18,59
154	10,50	16,15
155	9,90	15,47
156	9,20	10,34
157	7,20	10,29
158	4,80	6,86
159	15,90	20,38
160	7,10	10,76
161	4,80	8,89
162	9,10	12,13
163	7,80	11,30
164	7,40	11,94
165	4,40	6,29
166	5,00	9,26
167	11,40	15,00
168	10,90	17,58
169	12,30	18,09
170	13,30	20,46
171	6,00	12,00
172	8,60	12,65
173	3,50	7,45
174	17,70	20,82
175	18,70	25,97
176	12,40	16,32
177	21,90	27,04
178	17,70	21,85
179	9,5	8,80

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
180	20,70	24,64
181	19,60	15,93
182	15,20	14,34
183	12,70	15,30
184	16,70	26,94
185	11,70	27,21
186	10,30	20,60
187	19,70	26,27
188	20,00	21,28
189	15,70	17,44
190	12,20	18,21
191	14,60	15,87
192	13,60	14,17
193	14,10	21,36
194	9,70	14,06
195	8,30	14,31
196	7,30	11,23
197	10,50	15,22
198	10,90	16,52
199	7,00	11,86
200	6,60	11,19
201	17,80	27,38
202	7,60	15,20
203	8,30	20,24
204	4,90	14,85
205	11,40	17,54
206	7	11,86
207	8,80	12,75
208	6,90	8,52
209	5,40	6,59
210	10,60	8,28
211	6,20	6,46
212	3,80	5,51
213	8,40	11,83
214	6,10	9,84

Tabel 3 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	7d Aktual (Y)
215	5,50	9,17
216	4,40	6,03
217	6,00	8,33
Intercept (A)		6,96
Slope (B)		0,88

Didapat Intercept (A) = 6,96 dan Slope (B) = 0,88, maka rumus metode linear untuk umur 7 hari silinder 75 x 215 mm dari:

$$y = 6,5 + 0,91x$$

menjadi:

$$y = 6,96 + 0,88x$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 7 hari untuk silinder 75 x 215 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
1	31,30	35,57
2	18,60	26,96
3	28,60	36,20
4	23,50	34,56
5	26,50	27,89
6	19,90	35,54
7	16,20	35,22
8	16,10	29,81
9	11,00	25,58
10	8,50	20,73
11	18,60	32,63
12	13,00	27,66
13	11,70	24,89
14	8,90	21,19
15	14,70	28,82
16	16,30	29,11
17	12,60	25,71
18	12,20	24,40

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
19	11,00	24,44
20	18,60	30,49
21	13,60	28,94
22	12,30	27,33
23	10,70	27,44
24	10,10	26,58
25	16,30	28,60
26	10,80	20,38
27	9,00	20,93
28	15,40	28,00
29	25,40	30,24
30	38,50	45,29
31	11,70	22,08
32	15,50	26,72
33	15,60	26,90
34	14,10	24,31
35	12,00	25,53
36	5,50	15,71
37	10,00	16,95
38	13,10	24,72
39	13,60	26,67
40	12,60	20,32
41	6,90	19,71
42	10,00	17,24
43	9,70	22,05
44	5,70	21,11
45	11,30	17,66
46	5,20	19,26
47	7,90	16,81
48	6,80	21,94
49	5,50	22,00
50	16,10	23,33
51	9,40	21,86
52	6,60	19,41
53	6,10	17,94
54	5,50	17,19
55	12,20	24,40
56	11,50	24,47

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
57	16,20	30,57
58	10,10	24,05
59	13,50	27,55
60	11,00	25,00
61	20,20	30,15
62	17,90	28,87
63	15,20	28,15
64	15,90	28,91
65	24,00	31,58
66	18,50	29,37
67	18,20	25,63
68	14,30	29,18
69	15,50	26,27
70	17,00	25,76
71	16,70	26,51
72	14,50	26,85
73	14,60	28,08
74	14,50	29,00
75	14,70	28,82
76	15,50	28,18
77	14,50	29,59
78	14,70	27,22
79	15,70	28,04
80	7,60	21,11
81	9,10	23,95
82	7,50	25,86
83	14,30	33,26
84	15,60	33,91
85	8,30	22,43
86	6,70	21,61
87	6,70	17,18
88	7,00	16,67
89	11,00	22,00
90	5,90	19,03
91	3,70	13,21
92	3,60	12,86
93	13,50	23,68
94	8,80	20,47

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
95	7,60	16,17
96	5,60	13,33
97	9,80	17,50
98	8,40	16,47
99	8,30	17,29
100	6,80	12,14
101	12,00	19,35
102	14,30	25,54
103	11,70	26,00
104	10,60	21,63
105	6,00	18,75
106	5,30	14,72
107	2,10	11,67
108	1,60	6,67
109	33,90	39,88
110	30,70	33,74
111	13,30	24,18
112	17,30	33,27
113	15,10	27,45
114	15,40	24,44
115	12,00	24,49
116	16,70	32,12
117	12,00	27,91
118	12,40	22,14
119	7,90	20,79
120	22,00	30,99
121	26,90	29,56
122	23,10	29,62
123	16,60	28,14
124	18,20	27,58
125	25,50	26,84
126	23,20	26,67
127	31,50	27,39
128	13,10	25,69
129	15,20	24,52
130	15,20	24,52
131	11,30	24,04
132	11,00	21,57

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
133	8,10	19,76
134	9,70	19,40
135	7,70	18,33
136	7,10	18,68
137	9,20	13,14
138	6,70	13,14
139	4,10	14,64
140	4,80	14,55
141	13,60	24,73
142	13,20	24,44
143	8,40	19,09
144	8,80	20,95
145	22,60	34,77
146	20,00	33,33
147	16,00	30,77
148	13,60	27,76
149	15,10	24,75
150	11,00	23,91
151	22,50	34,62
152	14,40	26,18
153	11,90	20,88
154	10,50	21,88
155	9,90	19,80
156	9,20	16,43
157	7,20	15,65
158	4,80	11,16
159	15,90	24,84
160	7,10	14,79
161	4,80	12,63
162	9,10	19,36
163	7,80	16,96
164	7,40	17,62
165	4,40	7,72
166	5,00	11,90
167	11,40	18,10
168	10,90	20,57
169	12,30	21,96
170	13,30	27,71

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
171	6,00	17,65
172	8,60	20,48
173	3,50	14,00
174	17,70	30,00
175	18,70	30,16
176	12,40	26,38
177	21,90	28,44
178	17,70	27,66
179	9,5	13,97
180	20,70	29,57
181	19,60	24,81
182	15,20	25,76
183	12,70	22,28
184	16,70	37,95
185	11,70	35,45
186	10,30	30,29
187	19,70	31,27
188	20,00	24,39
189	15,70	28,55
190	12,20	24,90
191	14,60	24,75
192	13,60	21,59
193	14,10	28,20
194	9,70	21,09
195	8,30	20,24
196	7,30	16,98
197	10,50	25,61
198	10,90	24,77
199	7,00	19,44
200	6,60	16,50
201	17,80	33,58
202	7,60	19,49
203	8,30	23,71
204	4,90	17,50
205	11,40	25,33
206	7	19,44
207	8,80	20,00
208	6,90	15,33

Tabel 4 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	28d Aktual (Y)
209	5,40	11,49
210	10,60	15,82
211	6,20	14,09
212	3,80	10,00
213	8,40	17,87
214	6,10	16,49
215	5,50	17,74
216	4,40	12,94
217	6,00	16,22
Intercept (A)		12,59
Slope (B)		0,87

Didapat Intercept (A) = 12, 59 dan Slope (B) = 0,87, maka rumus metode linear untuk umur 28 hari silinder 75 x 215 mm dari:

$$y = 12,6 + 0,88x$$

menjadi:

$$y = 12,59 + 0,87x$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 28 hari untuk silinder 75 x 215 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
1	31,30	35,17
2	18,60	27,76
3	28,60	45,40
4	23,50	36,72
5	26,50	40,77
6	19,90	45,23
7	16,20	27,00
8	16,10	28,25
9	11,00	28,95
10	8,50	19,77
11	18,60	35,77
12	13,00	29,55

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
13	11,70	29,25
14	8,90	23,42
15	14,70	27,22
16	16,30	27,63
17	12,60	30,00
18	12,20	33,89
19	11,00	26,19
20	18,60	36,47
21	13,60	27,76
22	12,30	28,60
23	10,70	30,57
24	10,10	29,71
25	16,30	31,35
26	10,80	27,00
27	9,00	21,43
28	15,40	39,49
29	25,40	23,52
30	38,50	41,40
31	11,70	27,21
32	15,50	29,81
33	15,60	23,28
34	14,10	30,00
35	12,00	28,57
36	5,50	15,71
37	10,00	20,00
38	13,10	31,19
39	13,60	27,76
40	12,60	25,71
41	6,90	26,54
42	10,00	27,03
43	9,70	26,94
44	5,70	25,91
45	11,30	21,73
46	5,20	21,67
47	7,90	18,37
48	6,80	29,57
49	5,50	26,19
50	16,10	34,26

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
51	9,40	30,32
52	6,60	24,44
53	6,10	24,40
54	5,50	22,00
55	12,20	28,37
56	11,50	28,75
57	16,20	33,06
58	10,10	25,90
59	13,50	30,68
60	11,00	29,73
61	20,20	38,85
62	17,90	29,34
63	15,20	28,68
64	15,90	32,45
65	24,00	32,88
66	18,50	33,64
67	18,20	28,44
68	14,30	33,26
69	15,50	33,70
70	17,00	26,98
71	16,70	26,94
72	14,50	27,36
73	14,60	28,08
74	14,50	33,72
75	14,70	34,19
76	15,50	29,81
77	14,50	32,95
78	14,70	30,00
78	14,70	30,00
79	15,70	35,68
80	7,60	26,21
81	9,10	26,00
82	7,50	28,85
83	14,30	37,63
84	15,60	36,28
85	8,30	28,62
86	6,70	30,45
87	6,70	26,80

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
88	7,00	25,93
89	11,00	28,95
90	5,90	22,69
91	3,70	20,56
92	3,60	20,00
93	13,50	27,00
94	8,80	24,44
95	7,60	17,67
96	5,60	20,00
97	9,80	20,42
98	8,40	19,09
99	8,30	22,43
100	6,80	16,19
101	12,00	28,57
102	14,30	27,50
103	11,70	26,59
104	10,60	26,50
105	6,00	23,08
106	5,30	16,56
107	2,10	15,00
108	1,60	8,89
109	33,90	48,43
110	30,70	40,93
111	13,30	30,23
112	17,30	37,61
113	15,10	32,83
114	15,40	30,20
115	12,00	30,00
116	16,70	36,30
116	16,70	36,30
118	12,40	29,52
119	7,90	21,94
120	22,00	35,48
121	26,90	28,32
122	23,10	28,52
123	16,60	33,88
124	18,20	27,58
125	25,50	24,52

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
126	23,20	24,42
127	31,50	26,92
128	13,10	26,20
129	15,20	24,52
130	15,20	24,52
131	11,30	27,56
132	11,00	25,00
133	8,10	23,14
134	9,70	23,10
135	7,70	24,06
136	7,10	23,67
137	9,20	16,43
138	6,70	16,34
139	4,10	19,52
140	4,80	20,00
141	13,60	29,57
142	13,20	29,33
143	8,40	24,00
144	8,80	25,14
145	22,60	34,77
146	20,00	33,33
147	16,00	30,77
148	13,60	28,33
149	15,10	26,03
150	11,00	25,58
151	22,50	41,67
152	14,40	28,80
153	11,90	27,67
154	10,50	24,42
155	9,90	22,00
156	9,20	19,17
157	7,20	17,14
158	4,80	12,97
159	15,90	26,50
160	7,10	17,32
161	4,80	15,00
162	9,10	21,67
163	7,80	19,02

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
164	7,40	21,76
165	4,40	10,00
166	5,00	15,63
167	11,40	21,51
168	10,90	25,95
169	12,30	24,60
170	13,30	30,93
171	6,00	22,22
172	8,60	25,29
173	3,50	15,91
174	17,70	35,40
175	18,70	34,63
176	12,40	27,56
177	21,90	33,69
178	17,70	28,10
179	9,5	16,38
180	20,70	35,69
181	19,60	33,22
182	15,20	31,02
183	12,70	25,40
184	16,70	39,76
185	11,70	37,74
186	10,30	38,15
187	19,70	39,40
188	20,00	30,77
189	15,70	27,54
190	12,20	29,76
191	14,60	31,74
192	13,60	26,67
193	14,10	30,00
194	9,70	20,64
195	8,30	23,71
196	7,30	14,60
197	10,50	26,92
198	10,90	31,14
199	7,00	26,92
200	6,60	21,29
201	17,80	35,60

Tabel 5 Regresi Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	K-5 (X)	91d Aktual (Y)
202	7,60	21,71
203	8,30	25,15
204	4,90	18,85
205	11,40	27,14
206	7	26,92
207	8,80	23,78
208	6,90	22,26
209	5,40	16,88
210	10,60	22,08
211	6,20	16,76
212	3,80	14,07
213	8,40	21,54
214	6,10	17,94
215	5,50	21,15
216	4,40	19,13
217	6,00	24,00
Intercept (A)		17,15
Slope (B)		0,80

Didapat Intercept (A) = 17, 15 dan Slope (B) = 0,80, maka rumus metode linear untuk umur 91 hari silinder 75 x 215 mm dari:

$$y = 15,7 + 1,00x$$

menjadi:

$$y = 17,15 + 0,80x$$

dimana:

y = kuat tekan prediksi beton umur 91 hari untuk silinder 75 x 215 mm

x = hasil kuat tekan beton umur 5 jam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 5: Hasil Perhitungan Nilai MSE Regresi Linear
Data Normal Weight Aggregate

Tabel 1 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
 Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm

No	7d Aktual	7d Linear	Error Linear
1	29,52	31,53	4,022
2	35,92	32,23	13,565
3	26,98	20,98	36,000
4	19,11	17,36	3,036
5	15,07	17,36	5,264
6	22,81	19,68	9,808
7	14,41	15,15	0,559
8	17,29	18,77	2,206
9	15,59	17,26	2,809
10	19,76	14,75	25,033
11	15,47	16,56	1,193
12	12,79	14,45	2,771
13	24,05	24,50	0,196
14	28,39	22,59	33,691
15	27,65	25,50	4,602
16	28,67	23,89	22,774
17	27,50	20,98	42,495
18	19,76	14,75	25,033
19	24,35	17,87	42,002
20	20,00	15,26	22,515
21	19,68	12,74	48,078
22	16,21	11,34	23,714
23	16,53	14,75	3,161
24	14,64	16,76	4,512
25	15,00	15,96	0,918
26	15,00	14,75	0,061
27	24,21	20,48	13,925
28	14,55	13,04	2,251
29	22,50	23,79	1,674
30	19,85	19,98	0,016
31	12,58	14,45	3,500
32	12,67	14,25	2,508
33	16,60	14,95	2,710
34	11,30	11,84	0,286

Tabel 1 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	7d Aktual	7d Linear	Error Linear
35	16,50	16,56	0,004
36	26,61	22,39	17,830
37	11,57	12,54	0,949
38	19,38	15,96	11,674
39	16,32	15,96	0,128
40	15,45	15,15	0,090
41	13,06	11,34	2,953
42	13,08	13,45	0,137
43	6,38	11,04	21,706
44	13,04	15,66	6,830
45	7,26	12,74	30,049
46	5,80	10,63	23,396
47	5,76	10,43	21,860
MSE Linear			11,585

Tabel 2 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	3d Aktual	3d Linear	Error Linear
1	23,619	22,712	0,823
2	23,832	23,244	0,345
3	19,324	14,724	21,165
4	12,738	11,985	0,567
5	8,917	11,985	9,415
6	14,130	13,735	0,156
7	9,884	10,311	0,183
8	11,524	13,050	2,330
9	9,464	11,909	5,977
10	13,966	10,007	15,668
11	11,647	11,377	0,073
12	9,630	9,779	0,022
13	19,560	17,386	4,726
14	19,157	15,941	10,340
15	19,381	18,147	1,523
16	22,338	16,930	29,243
17	17,439	14,724	7,372
18	12,857	10,007	8,122
19	17,778	12,366	29,293
20	13,651	10,388	10,649
21	11,509	8,486	9,143
22	10,930	7,421	12,317
23	11,250	10,007	1,545
24	9,619	11,529	3,647
25	10,941	10,920	0,000
26	9,529	10,007	0,228
27	11,695	14,343	7,015
28	12,549	8,714	14,708
29	16,765	16,854	0,008
30	14,615	13,963	0,426
31	9,398	9,779	0,145
32	10,000	9,627	0,139
33	15,370	10,159	27,155
34	8,125	7,801	0,105
35	9,706	11,377	2,791
36	20,933	15,789	26,465
37	6,556	8,334	3,161
38	14,308	10,920	11,476

Tabel 2 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	3d Aktual	3d Linear	Error Linear
39	10,941	10,920	0,000
40	10,000	10,311	0,097
41	9,792	7,421	5,622
42	7,907	9,018	1,235
43	3,636	7,192	12,645
44	9,890	10,692	0,643
45	6,421	8,486	4,263
46	4,255	6,888	6,932
47	4,270	6,736	6,083
MSE Linear			6,723

Tabel 3 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	7d Aktual	7d Linear	Error Linear
1	26,105	28,662	6,534
2	27,128	29,274	4,607
3	23,443	19,473	15,757
4	17,541	16,323	1,484
5	12,442	16,323	15,062
6	22,414	18,336	16,632
7	12,319	14,398	4,322
8	14,756	17,548	7,795
9	15,821	16,235	0,172
10	18,000	14,048	15,621
11	14,776	15,623	0,717
12	13,220	13,785	0,319
13	23,421	22,536	0,783
14	23,043	20,873	4,710
15	21,364	23,411	4,192
16	25,294	22,011	10,780
17	23,065	19,473	12,898
18	18,000	14,048	15,621
19	21,132	16,760	19,111
20	18,696	14,485	17,728
21	13,864	12,297	2,453
22	13,056	11,072	3,933
23	15,000	14,048	0,907
24	15,538	15,798	0,067
25	15,500	15,098	0,162
26	14,727	14,048	0,462
27	18,904	19,036	0,017
28	15,610	12,560	9,301
29	20,854	21,923	1,144
30	21,111	18,598	6,315
31	13,929	13,785	0,021
32	13,103	13,610	0,257
33	17,292	14,223	9,419
34	10,612	11,510	0,806
35	13,750	15,623	3,507
36	27,544	20,698	46,862
37	9,833	12,122	5,240
38	18,600	15,098	12,266

Tabel 3 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	7d Aktual	7d Linear	Error Linear
39	16,034	15,098	0,877
40	14,167	14,398	0,053
41	12,703	11,072	2,658
42	11,930	12,910	0,961
43	5,432	10,810	28,920
44	13,043	14,835	3,210
45	8,243	12,297	16,437
46	6,897	10,460	12,697
47	6,333	10,285	15,614
MSE Linear			7,647

Tabel 4 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	28d Aktual	28d Linear	Error Linear
1	34,444	34,238	0,043
2	36,957	34,849	4,444
3	31,778	25,074	44,937
4	23,261	21,933	1,765
5	22,766	21,933	0,695
6	24,528	23,940	0,346
7	20,732	20,013	0,517
8	23,269	23,154	0,013
9	19,273	21,845	6,618
10	23,824	19,663	17,306
11	22,000	21,234	0,586
12	21,081	19,402	2,820
13	28,710	28,129	0,338
14	31,176	26,471	22,146
15	28,060	29,001	0,887
16	30,175	27,605	6,607
17	28,600	25,074	12,431
18	23,824	19,663	17,306
19	27,317	22,369	24,485
20	21,500	20,100	1,960
21	21,786	17,918	14,959
22	19,583	16,696	8,335
23	21,892	19,663	4,966
24	18,036	21,409	11,378
25	19,375	20,711	1,784
26	17,609	19,663	4,222
27	24,643	24,638	0,000
28	18,824	18,180	0,414
29	26,719	27,518	0,638
30	24,182	24,202	0,000
31	17,333	19,402	4,278
32	17,273	19,227	3,820
33	22,432	19,838	6,731
34	17,333	17,133	0,040
35	19,038	21,234	4,822
36	35,682	26,296	88,093
37	15,946	17,744	3,231
38	21,628	20,711	0,841

Tabel 4 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	28d Aktual	28d Linear	Error Linear
39	21,136	20,711	0,181
40	18,889	20,013	1,263
41	18,800	16,696	4,426
42	18,378	18,529	0,023
43	9,778	16,434	44,311
44	20,930	20,449	0,232
45	15,641	17,918	5,185
46	12,500	16,085	12,855
47	13,103	15,911	7,881
MSE Linear			8,535

Tabel 5 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	91d Aktual	91d Linear	Error Linear
1	42,034	36,885	26,512
2	41,129	37,442	13,595
3	42,059	28,530	183,032
4	25,476	25,665	0,036
5	24,318	25,665	1,815
6	32,500	27,495	25,045
7	25,758	23,915	3,396
8	24,200	26,779	6,653
9	22,083	25,586	12,267
10	28,929	23,596	28,431
11	28,286	25,029	10,608
12	27,857	23,358	20,245
13	34,231	31,315	8,502
14	33,830	29,803	16,215
15	32,414	32,111	0,092
16	35,102	30,837	18,186
17	34,878	28,530	40,299
18	27,931	23,596	18,789
19	27,317	26,063	1,572
20	27,742	23,994	14,045
21	25,417	22,005	11,639
22	24,737	20,891	14,790
23	23,824	23,596	0,052
24	25,897	25,188	0,503
25	25,833	24,551	1,644
26	24,545	23,596	0,901
27	28,750	28,132	0,382
28	24,615	22,244	5,625
29	31,091	30,758	0,111
30	24,630	27,734	9,638
31	19,024	23,358	18,778
32	18,095	23,199	26,044
33	24,412	23,756	0,431
34	20,800	21,289	0,239
35	26,757	25,029	2,986
36	41,316	29,644	136,233
37	19,032	21,846	7,916
38	23,846	24,551	0,497

Tabel 5 Nilai Error Linear Data *Normal Weight Aggregate*
Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	91d Aktual	91d Linear	Error Linear
39	25,833	24,551	1,644
40	22,368	23,915	2,391
41	31,333	20,891	109,042
42	21,250	22,562	1,721
43	13,333	20,652	53,567
44	24,324	24,313	0,000
45	21,786	22,005	0,048
46	19,048	20,334	1,655
47	19,000	20,175	1,380
MSE Linear			18,281

Lampiran 6: Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate*

Tabel 1 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	29,52	31,53	6,79%	30,40	2,97%
2	35,92	32,23	10,25%	35,40	1,44%
3	26,98	20,98	22,24%	26,40	2,15%
4	19,11	17,36	9,12%	20,50	7,29%
5	15,07	17,36	15,22%	20,50	36,03%
6	22,81	19,68	13,73%	23,80	4,35%
7	14,41	15,15	5,19%	12,90	10,46%
8	17,29	18,77	8,59%	19,80	14,55%
9	15,59	17,26	10,75%	14,20	8,91%
10	19,76	14,75	25,33%	17,30	12,43%
11	15,47	16,56	7,06%	19,80	28,00%
12	12,79	14,45	13,02%	17,00	32,95%
13	24,05	24,50	1,84%	25,50	6,01%
14	28,39	22,59	20,44%	25,00	11,95%
15	27,65	25,50	7,76%	25,50	7,77%
16	28,67	23,89	16,65%	25,40	11,40%
17	27,50	20,98	23,70%	24,20	12,00%
18	19,76	14,75	25,33%	17,90	9,40%
19	24,35	17,87	26,62%	21,30	12,52%
20	20,00	15,26	23,72%	18,50	7,50%
21	19,68	12,74	35,24%	15,60	20,72%
22	16,21	11,34	30,05%	14,20	12,38%
23	16,53	14,75	10,75%	14,50	12,28%
24	14,64	16,76	14,51%	19,40	32,53%
25	15,00	15,96	6,39%	18,10	20,67%
26	15,00	14,75	1,65%	13,50	10,00%
27	24,21	20,48	15,41%	20,70	14,50%
28	14,55	13,04	10,32%	12,30	15,44%

Tabel 1 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 152 x 305 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
29	22,50	23,79	5,75%	25,10	11,56%
30	19,85	19,98	0,63%	21,20	6,80%
31	12,58	14,45	14,87%	13,10	4,13%
32	12,67	14,25	12,50%	12,90	1,84%
33	16,60	14,95	9,92%	15,00	9,64%
34	11,30	11,84	4,73%	11,20	0,92%
35	16,50	16,56	0,37%	17,30	4,85%
36	26,61	22,39	15,87%	21,50	19,20%
37	11,57	12,54	8,42%	8,02	30,67%
38	19,38	15,96	17,63%	15,30	21,03%
39	16,32	15,96	2,19%	16,90	3,58%
40	15,45	15,15	1,94%	15,70	1,59%
41	13,06	11,34	13,16%	12,20	6,55%
42	13,08	13,45	2,83%	13,10	0,18%
43	6,38	11,04	73,06%	6,09	4,50%
44	13,04	15,66	20,04%	13,50	3,50%
45	7,26	12,74	75,49%	10,40	43,21%
46	5,80	10,63	83,44%	6,70	15,58%
47	5,76	10,43	81,21%	6,12	6,29%
Rata-rata		Linear	18,33%	ANFIS	12,22%

Tabel 2 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	23,619	22,712	3,84%	22,200	6,01%
2	23,832	23,244	2,47%	23,800	0,13%
3	19,324	14,724	23,81%	17,800	7,89%
4	12,738	11,985	5,91%	13,000	2,06%
5	8,917	11,985	34,41%	13,000	45,79%
6	14,130	13,735	2,80%	16,500	16,77%
7	9,884	10,311	4,33%	7,890	20,17%
8	11,524	13,050	13,25%	13,900	20,62%
9	9,464	11,909	25,83%	9,070	4,17%
10	13,966	10,007	28,34%	12,400	11,21%
11	11,647	11,377	2,32%	14,000	20,20%
12	9,630	9,779	1,55%	12,300	27,73%
13	19,560	17,386	11,11%	18,900	3,38%
14	19,157	15,941	16,79%	18,200	4,99%
15	19,381	18,147	6,37%	19,100	1,45%
16	22,338	16,930	24,21%	18,700	16,28%
17	17,439	14,724	15,57%	17,300	0,80%
18	12,857	10,007	22,17%	11,500	10,56%
19	17,778	12,366	30,44%	14,800	16,75%
20	13,651	10,388	23,91%	12,100	11,36%
21	11,509	8,486	26,27%	10,400	9,64%
22	10,930	7,421	32,11%	10,000	8,51%
23	11,250	10,007	11,05%	9,180	18,40%
24	9,619	11,529	19,85%	9,360	2,69%
25	10,941	10,920	0,19%	8,850	19,11%
26	9,529	10,007	5,01%	9,110	4,40%
27	11,695	14,343	22,65%	14,000	19,71%
28	12,549	8,714	30,56%	9,360	25,41%
29	16,765	16,854	0,53%	17,600	4,98%
30	14,615	13,963	4,46%	14,400	1,47%

Tabel 2 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 3 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
31	9,398	9,779	4,06%	8,760	6,78%
32	10,000	9,627	3,73%	8,560	14,40%
33	15,370	10,159	33,90%	9,820	36,11%
34	8,125	7,801	3,99%	6,940	14,58%
35	9,706	11,377	17,21%	14,200	46,30%
36	20,933	15,789	24,58%	16,500	21,18%
37	6,556	8,334	27,12%	5,820	11,22%
38	14,308	10,920	23,68%	10,900	23,82%
39	10,941	10,920	0,19%	10,200	6,77%
40	10,000	10,311	3,11%	10,300	3,00%
41	9,792	7,421	24,21%	10,500	7,23%
42	7,907	9,018	14,05%	10,800	36,59%
43	3,636	7,192	97,79%	3,950	8,63%
44	9,890	10,692	8,11%	8,010	19,01%
45	6,421	8,486	32,15%	6,490	1,07%
46	4,255	6,888	61,87%	5,760	35,36%
47	4,270	6,736	57,76%	5,220	22,26%
Rata-rata		Linear	18,93%	ANFIS	14,40%

Tabel 3 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	26,105	28,662	9,79%	28,400	8,79%
2	27,128	29,274	7,91%	33,000	21,65%
3	23,443	19,473	16,93%	24,700	5,36%
4	17,541	16,323	6,94%	18,700	6,61%
5	12,442	16,323	31,19%	18,700	50,30%
6	22,414	18,336	18,20%	21,800	2,74%
7	12,319	14,398	16,88%	12,400	0,66%
8	14,756	17,548	18,92%	18,700	26,73%
9	15,821	16,235	2,62%	13,600	14,04%
10	18,000	14,048	21,96%	16,300	9,44%
11	14,776	15,623	5,73%	18,100	22,49%
12	13,220	13,785	4,27%	16,100	21,78%
13	23,421	22,536	3,78%	23,400	0,09%
14	23,043	20,873	9,42%	22,800	1,06%
15	21,364	23,411	9,58%	23,600	10,47%
16	25,294	22,011	12,98%	23,300	7,88%
17	23,065	19,473	15,57%	21,900	5,05%
18	18,000	14,048	21,96%	16,400	8,89%
19	21,132	16,760	20,69%	19,300	8,67%
20	18,696	14,485	22,52%	16,900	9,60%
21	13,864	12,297	11,30%	14,500	4,59%
22	13,056	11,072	15,19%	13,300	1,87%
23	15,000	14,048	6,35%	14,000	6,67%
24	15,538	15,798	1,67%	18,000	15,84%
25	15,500	15,098	2,60%	17,100	10,32%
26	14,727	14,048	4,61%	13,000	11,73%
27	18,904	19,036	0,70%	19,200	1,57%
28	15,610	12,560	19,54%	11,600	25,69%
29	20,854	21,923	5,13%	22,000	5,50%
30	21,111	18,598	11,90%	19,300	8,58%

Tabel 3 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 7 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
31	13,929	13,785	1,03%	12,200	12,41%
32	13,103	13,610	3,87%	12,100	7,66%
33	17,292	14,223	17,75%	14,000	19,04%
34	10,612	11,510	8,46%	10,900	2,71%
35	13,750	15,623	13,62%	16,700	21,45%
36	27,544	20,698	24,85%	21,500	21,94%
37	9,833	12,122	23,28%	8,510	13,46%
38	18,600	15,098	18,83%	15,400	17,20%
39	16,034	15,098	5,84%	16,100	0,41%
40	14,167	14,398	1,63%	15,100	6,59%
41	12,703	11,072	12,83%	10,300	18,91%
42	11,930	12,910	8,22%	12,900	8,13%
43	5,432	10,810	99,00%	6,320	16,35%
44	13,043	14,835	13,74%	13,600	4,27%
45	8,243	12,297	49,18%	11,000	33,44%
46	6,897	10,460	51,67%	8,370	21,37%
47	6,333	10,285	62,39%	7,730	22,05%
Rata-rata		Linear	16,45%	ANFIS	12,38%

Tabel 4 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	34,444	34,238	0,60%	32,000	7,10%
2	36,957	34,849	5,70%	35,600	3,67%
3	31,778	25,074	21,10%	29,900	5,91%
4	23,261	21,933	5,71%	24,500	5,33%
5	22,766	21,933	3,66%	24,500	7,62%
6	24,528	23,940	2,40%	27,500	12,12%
7	20,732	20,013	3,47%	18,100	12,69%
8	23,269	23,154	0,49%	24,400	4,86%
9	19,273	21,845	13,35%	19,400	0,66%
10	23,824	19,663	17,46%	21,500	9,75%
11	22,000	21,234	3,48%	23,800	8,18%
12	21,081	19,402	7,97%	21,300	1,04%
13	28,710	28,129	2,02%	28,900	0,66%
14	31,176	26,471	15,09%	28,500	8,58%
15	28,060	29,001	3,36%	28,900	2,99%
16	30,175	27,605	8,52%	28,800	4,56%
17	28,600	25,074	12,33%	27,800	2,80%
18	23,824	19,663	17,46%	21,800	8,49%
19	27,317	22,369	18,11%	25,100	8,12%
20	21,500	20,100	6,51%	22,400	4,19%
21	21,786	17,918	17,75%	19,500	10,49%
22	19,583	16,696	14,74%	18,000	8,09%
23	21,892	19,663	10,18%	19,400	11,38%
24	18,036	21,409	18,70%	23,600	30,85%
25	19,375	20,711	6,89%	22,500	16,13%
26	17,609	19,663	11,67%	18,600	5,63%
27	24,643	24,638	0,02%	24,500	0,58%
28	18,824	18,180	3,42%	16,200	13,94%
29	26,719	27,518	2,99%	28,000	4,80%
30	24,182	24,202	0,08%	25,000	3,38%

Tabel 4 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 28 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
31	17,333	19,402	11,93%	16,800	3,08%
32	17,273	19,227	11,31%	16,600	3,89%
33	22,432	19,838	11,57%	19,100	14,86%
34	17,333	17,133	1,16%	15,200	12,31%
35	19,038	21,234	11,53%	24,500	28,69%
36	35,682	26,296	26,30%	29,600	17,04%
37	15,946	17,744	11,27%	15,300	4,05%
38	21,628	20,711	4,24%	22,400	3,57%
39	21,136	20,711	2,01%	23,700	12,13%
40	18,889	20,013	5,95%	22,000	16,47%
41	18,800	16,696	11,19%	14,700	21,81%
42	18,378	18,529	0,82%	18,500	0,66%
43	9,778	16,434	68,08%	12,100	23,75%
44	20,930	20,449	2,30%	20,500	2,06%
45	15,641	17,918	14,56%	16,800	7,41%
46	12,500	16,085	28,68%	13,400	7,20%
47	13,103	15,911	21,42%	12,800	2,32%
Rata-rata		Linear	10,63%	ANFIS	8,64%

Tabel 5 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm

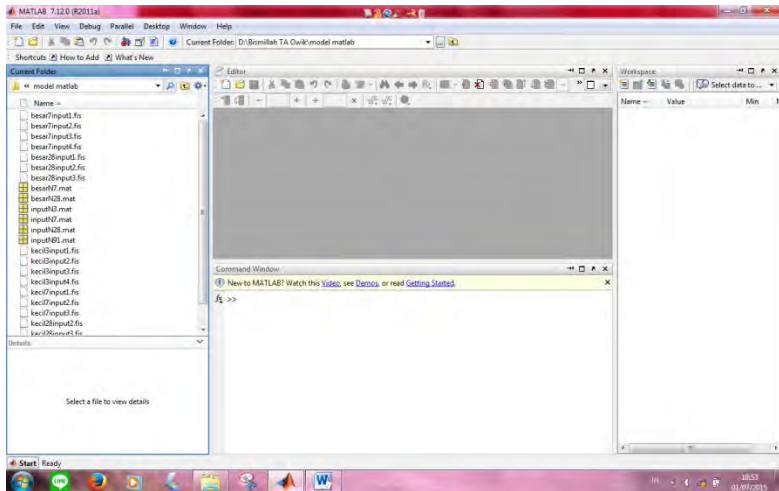
No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
1	42,034	36,885	12,25%	33,200	21,02%
2	41,129	37,442	8,96%	39,400	4,20%
3	42,059	28,530	32,17%	34,800	17,26%
4	25,476	25,665	0,74%	26,800	5,20%
5	24,318	25,665	5,54%	26,800	10,21%
6	32,500	27,495	15,40%	31,200	4,00%
7	25,758	23,915	7,15%	22,400	13,04%
8	24,200	26,779	10,66%	27,200	12,40%
9	22,083	25,586	15,86%	24,300	10,04%
10	28,929	23,596	18,43%	24,600	14,96%
11	28,286	25,029	11,51%	26,400	6,67%
12	27,857	23,358	16,15%	24,400	12,41%
13	34,231	31,315	8,52%	32,600	4,76%
14	33,830	29,803	11,90%	31,200	7,77%
15	32,414	32,111	0,94%	33,700	3,97%
16	35,102	30,837	12,15%	32,100	8,55%
17	34,878	28,530	18,20%	30,800	11,69%
18	27,931	23,596	15,52%	27,300	2,26%
19	27,317	26,063	4,59%	28,100	2,87%
20	27,742	23,994	13,51%	27,400	1,23%
21	25,417	22,005	13,42%	23,600	7,15%
22	24,737	20,891	15,55%	21,200	14,30%
23	23,824	23,596	0,95%	24,200	1,58%
24	25,897	25,188	2,74%	25,800	0,38%
25	25,833	24,551	4,96%	25,200	2,45%
26	24,545	23,596	3,87%	23,500	4,26%
27	28,750	28,132	2,15%	29,800	3,65%
28	24,615	22,244	9,63%	19,600	20,38%
29	31,091	30,758	1,07%	29,900	3,83%
30	24,630	27,734	12,60%	28,500	15,71%

Tabel 5 Hasil Prediksi Data *Normal Weight Aggregate* Kuat Tekan Umur 91 Hari Silinder 75 x 215 mm (lanjutan)

No	Kuat Aktual	Linear		ANFIS	
		Kuat Prediksi	Error terhadap aktual	Kuat Prediksi	Error terhadap aktual
31	19,024	23,358	22,78%	17,700	6,96%
32	18,095	23,199	28,20%	17,700	2,18%
33	24,412	23,756	2,69%	22,400	8,24%
34	20,800	21,289	2,35%	20,800	0,00%
35	26,757	25,029	6,46%	29,200	9,13%
36	41,316	29,644	28,25%	32,600	21,10%
37	19,032	21,846	14,78%	19,800	4,03%
38	23,846	24,551	2,96%	25,300	6,10%
39	25,833	24,551	4,96%	28,600	10,71%
40	22,368	23,915	6,91%	27,400	22,49%
41	31,333	20,891	33,33%	22,900	26,91%
42	21,250	22,562	6,17%	23,700	11,53%
43	13,333	20,652	54,89%	17,800	33,50%
44	24,324	24,313	0,05%	24,900	2,37%
45	21,786	22,005	1,01%	23,700	8,79%
46	19,048	20,334	6,75%	20,900	9,72%
47	19,000	20,175	6,18%	18,800	1,05%
Rata-rata		Linear	11,40%	ANFIS	9,21%

Lampiran 7: Tahapan Mendapatkan Hasil ANFIS Menggunakan Format .fis

1. Buka *software* analisa matematika, disini digunakan Matlab 2011a



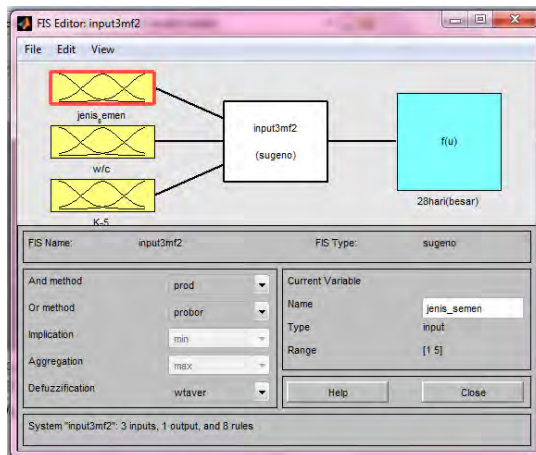
Gambar 1 Tampilan Jendela Awal Matlab

2. Run model yang akan digunakan. Ketik “*fuzzy besar28input3*” pada “*Command Window*”. Disini dicontohkan model umur 28 hari silinder 152 x 305 mm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



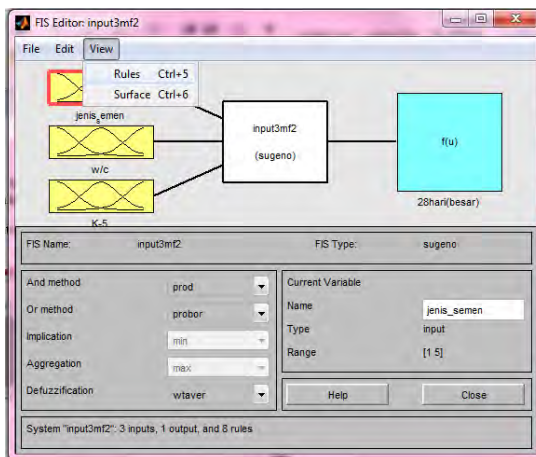
Gambar 2 Tampilan *Command Window*

3. Lalu muncul *FIS Editor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.



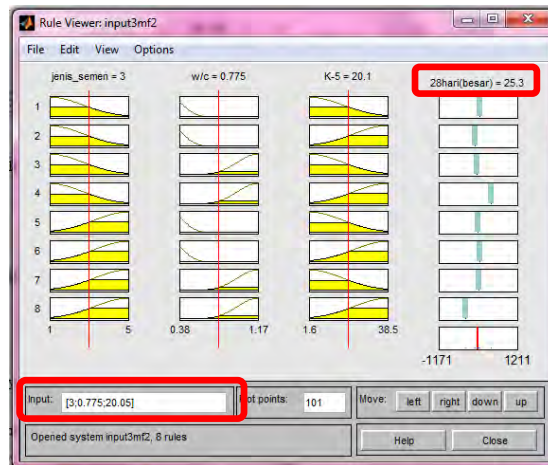
Gambar 3 Tampilan *FIS Editor*

Pilih *View* pada toolbar diatas, lalu pilih *Rules* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan *FIS Editor*

4. Lalu muncul *Rule Viewer* yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3 Tampilan *Rule Viewer*

Kemudian isi input (nilai jenis semen, w/c, dan K-5), lalu didapat hasil prediksi ANFIS (kuat tekan umur 28 hari silinder 152 x 305 mm). Untuk model yang lain dapat diulangi dari nomer 2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anjaswati, Irma Tri, 2013. **Sistem Inferensi Fuzzy**,
URL:http://irmatrianjaswatifst11.web.unair.ac.id/artikel_detail-85154-Logika%20FuzzySistem%20Inferensi%20Fuzzy.html.
- ASTM International C684-99. *Standart Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens*
- Fathurozi, Bagus, 2012. **Penggunaan Artificial Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Penentuan Status Aktivitas Gunung Merapi**, Jurnal EECCIS Vol. 6
- Febriani, Oni, 2012. **Penerapan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Pada Model Pola Produksi Energi Waduk Wonorejo**, Surabaya : Tesis ITS
- Franc, J.L. and Panigrahi, S., 1997. *Artificial Neural Network of Wheat Leaf Wetness*.J. Agricultural and Forest Meteorology
- Jang, J.S. R, 1993, **ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system**, IEEE Trans. On Sistem, Man and Cybernetics, 23(03):665-685
- Maulana, Rizki. 2013. **Prediksi Curah Hujan dan Debit Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)**, Bandung :Tugas Akhir ITB
- Nasser, K W and R J Beaton, 1980. *The K-5 Accelerated Stength Tester*, ACI Jurnal

- Nedushan, Behrouz Ahmadi, 2012. ***Prediction of Elastic Modulus of Normal and High Strength Concrete using ANFIS and Optimal Nonlinear Regression Model***, CE Dept, Yazd Univ, Iran
- P. P. Widodo, R. T. Handayanto, dan Herlawati, 2013. **Penenrapan Data Mining dengan Matlab**, Bandung : Penerbit Rekayasa Sains
- Siagian, Dergibson, dan Sugiarto, 2000. **Model Statistika Untuk Bisnis dan Ekonomi**, Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama
- Solikha, Nikmatus, 2012. **Hubungan Kehalusan, Strength Octivity Index, Berat Jenis Fly Ash dengan Kuat Tekan Mortar Menggunakan Artificial Neural Network**, Surabaya: Tugas Akhir ITS
- Widodo, Thomas Sri, 2005. **Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Permodelan, dan Kendali**, Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu
- Widyaprawati, L. K, 2012. **Peramalan beban listrik jangka pendek di bali menggunakan pendekatan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)**, Bali : Tugas Akhir UNUD
- Zhu, Y., 2000, **ANFIS: Penerapan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System**, EE Dept, Univ. Of Missouri, Rolla

Biodata Penulis



Penulis bernama Irwin Oktoviantini Hadi, dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 18 Oktober 1993, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Mudjadi dan Hartini.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Menangga 601 Surabaya (2001-2006), SMPN 6 Surabaya (2006-2009), serta SMA Negeri 15 Surabaya (2009-2011). Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis mengikuti SNMPTN tulis dan diterima di Perguruan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) Jurusan Teknik Sipil dan terdaftar dengan NRP 3111100097.

Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis merupakan orang yang aktif dalam organisasi. Organisasi lingkup Jurusan yang diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai Wakil Bendahara Umum BPH pada tahun kepengurusan 2012-2013, Bendahara Umum BPH pada tahun kepengurusan 2013-2014, Tim Pengaderan Massal Terbatas sebagai Instructur Committe pada tahun 2014 dan 2015, dan panitia Lomba Beton Civil Expo 2014. Untuk lingkup Fakultas pernah menjadi Bendahara Organizing Committe Pra Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar (Pra LKMM TD) 2012. Untuk lingkup Institut pernah menjadi Instructur Committe Gerigi ITS 2014.

Email : irwinowik18@gmail.com